

巻頭言

1 学会に期待される役割を果たすために

上塚 寛

時論

2 放射性廃棄物の地層処分を考える

対案のない反対意見は、実は、その問題解決のために何もしないでおくという将来を社会に選択させるという提案である。

朽山 修

4 地方自治と原子力防災計画—「今だけ」「金だけ」「自分だけ」の原発政策に引き裂かれた被害地元の知事として

嘉田由紀子

福島からの風

6 福島を正の遺産へ：災害の歴史を編むために

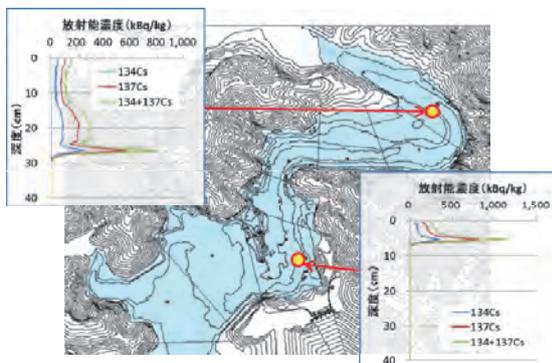
越智小枝

解説シリーズ

26 放射性物質の動きを調べる —原子力機構による環境回復の取組(2)

原発事故に由来する放射性物質は、どのような挙動をするのか。これからどうなるのか。これまでの調査で、森林から河川へ流入する放射性セシウムは年間0.1%前後で、ダムがあると下流への流出を10%以下に抑制できることがわかった。

飯島和毅



大栴ダム湖底質中の放射性セシウム濃度の深さ分布

座談会

13 「プルトニウム利用計画の明示を」 3年後に満期を迎える

日米原子力協定が、2018年7月に満期を迎える。日本としてはその前に、プルトニウム利用計画を含む今後の核燃料サイクルの進め方について明示する必要がある。

遠藤 哲也, 田中 伸男, 坂田 東一, 澤田 哲生



解説シリーズ 意思決定プロセスとしてのリスク コミュニケーション—原子力の未来に向けて

20 はじめに

古川 宏

21 (1) 原子力とリスクコミュニケーション

日本では今、行政・企業・メディア・市民などすべてのステークホルダーが議論をする「場」が必要だ。そのためには科学者自らも語る覚悟をもたなければならない。

西澤真理子

解説シリーズ 地層処分サイト選定の取組状況(2)

32 公募方式によるサイト選定—カナダ・英国

カナダではサイト選定のための調査が進行中であり、英国はカンブリア州での失敗を受けてサイト選定プロセスのやり直しが行われている。

佐原 聡, 稲垣裕亮



関心表面を行ったカナダの自治体の位置

37 知の連携や協働へ向けて —学会誌3月特集号の論点整理

科学技術をめぐる知は細分化され、完全に統合されることはない。そこからこぼれ落ちた部分が後に事故の遠因として顕在化することがある。本誌3月号に掲載した各学会の記事の中から、「知の統合」に関わる部分のあらましを紹介する。

佐田 務

42 可搬型高エネルギーライナックX線源による産業・社会インフラ診断—原子力技術の新しい社会貢献

X線を用いた非破壊検査で、大型構造物の内部を見ることができるよう装置の開発が進んでいる。可搬型のこの装置が実用化されれば、老朽化した橋や道路、あるいは化学プラントなどの検査に広く使われることが期待される。

土橋克広, 上坂 充, 藤原 健



X線源と検査対象物, 検出器の関係

会議報告

54 数理計算学・原子核応用におけるスーパーコンピューティング及びモンテカルロ計算 国際会議 (M&C+SNA+MC 2015)

小川達彦

55 第2回トリウム燃料に関する国際セミナーの報告

伊藤邦博

理事会だより

58 研究炉と人材育成

7 NEWS

- 原子力総合シンポジウムを開催
- 科技白書, 原子力人材育成に言及
- 原子力損害報告を閣議決定
- 緊急作業時被ばく限度が250mSvに
- 量子科学技術研究開発機構が来年発足
- 海外ニュース

報告

46 福島県における中間貯蔵施設への輸送計画の論点—交通計画を専門とする立場から

福島県における中間貯蔵施設には、除染により生じた除去土壌が県内各地に分散した仮置場等から運び込まれ、その量は最大2,200万m³にも達する。それをどう円滑かつ安全に運び込むか。

吉田 樹

50 国立高専における原子力人材育成について

国立高専機構と長岡技科大は全国の高専生を対象に、原子力や放射線に関する体系的な教育を実施し、人材育成に取り組んでいる。

紀 聖治



56 Letters 「LNT再考 放射線の生体影響を考える」についてのコメント 馬場 宏

57 新刊紹介 「データ検証序説 法令遵守数量化」

宇根崎 博信

58 From Editors

59 会報 原子力関係会議案内, 訃報, 英文論文誌 (Vol.52, No.9) 目次, 和文論文誌 (Vol.14, No.3) 目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

学会誌に関するご意見・ご要望は、学会誌ホームページの「目安箱」(<https://ssl.aesj.net/publish/meyasubako>)にお寄せください。

学会誌ホームページはこちら
<http://www.aesj.net/publish/atomos>

新会長あいさつ

学会に期待される役割を果たすために



第37代(平成27年度)会長

上塚 寛 (うえつか・ひろし)

昭和34年の設立以来、我が国の原子力分野の発展に大きく貢献してきた日本原子力学会の平成27年度会長に選任され、その責任の重さに身の引き締まる思いです。平成23年3月11日の東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所事故の発生から4年半が経過しましたが、我が国を大きな混乱に陥れた事故の影響は今も続いています。本会は、この事故を原子力の専門家集団として防げなかったことを真摯に受け止めて、学会としてのあり方を根本的に問い直すとともに、福島関連活動(福島復興支援活動、事故解明、事故プラントの廃止措置検討など)に本会の総力を挙げて取り組んでまいりました。学会としての基本的な規則である定款を改定し、同時に倫理規程および行動指針も改定しました。また、「福島特別プロジェクト」や「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会(学会事故調)」を立ち上げ、多くの会員諸氏の参画を得て精力的な活動を実施してきました。今後も本会が果たすべき責務を常に問い直しつつ、福島特別プロジェクトを中心とした福島復興支援活動と学会事故調が抽出した提言(本会として取り組むべき事項)のフォローに廃炉検討委員会を中心に本会全体で積極的に取り組んでまいります。

昨年4月に国のエネルギー基本計画が閣議決定され、その中で原子力発電は重要なベースロード電源と位置づけられました。また、経済産業省は、本年4月に2030年時点での望ましい電源構成(ベストミックス)として原子力の比率を20~22%と見込んだ案を公表しています。しかしながら、世論調査の結果では、原子力に対する国民の見方は依然として厳しく、原子力発電が今後のベースロード電源としての役割を担っていくためには、安全性や核燃料サイクルに係る課題に真摯に取り組み、国民の信頼を着実に得ていくことが重要です。原子力にはエネルギー安定供給や地球環境対策の切り札としての役割のみならず、先端科学の基盤や放射線の医療・農業・一般産業利用を支える量子ビーム技術としての役割があります。我が国の将来にとって本会の果たすべき役割は極めて大きなものであると信じています。

原子力学会の価値は、原子力利用に必要な多分野の学術的・技術的知識を有する研究者・技術者集団としての存在ということに尽きると考えます。社会から期待される役割を果たすには、深い専門性に加えて高い倫理観を備えた原子力の専門家集団として十分な規模を維持し、「環境の保全と社会の発展」に寄与する具体的な調査研究活動の成果を継続的に提供することが重要です。福島事故以降、会員数は漸減傾向にあり、また、今後は会員の平均年齢が有意に上昇していくことは確実で、学会としてのポテンシャル低下が懸念されます。今後長期に亘って必要な原子力分野の技術力を確実に次世代、将来世代に引き継いでいく努力が強く期待される所です。本会は、学会として本来あるべき姿を目指して、外部や他分野の専門家のご意見などを参考にしつつ組織内での検討と改革を進めてまいります。会員諸氏には、本会の価値と魅力度を高めるために、年会・大会などへの参加に加えて本会活動の基盤である部会・各専門委員会などにおける調査・研究活動への積極参加と、意義ある学術的成果の社会への発信に大いに努めてくださるよう切にお願い申し上げます。わたくしは本会役員の方の先頭に立って、先輩諸氏が築き上げてこられた価値あるコミュニティを良い形で発展させるために尽力する所存です。

(2015年6月29日記)



放射性廃棄物の地層処分を考える



栢山 修 (とちやま・おさむ)

(公財)原子力安全研究協会 技術顧問
京都大学大学院理学研究科博士課程前期終了。1971年東北大学工学部助手、助教授、大学院工学研究科教授、多元物質科学研究所教授を経て2008年原子力安全研究協会処分システム安全研究所所長。2015年より現職。

放射性廃棄物の処分施設をどこかに建設するという事は、国民全体が受けるべき廃棄物のリスクを減らすために、リスクをその地域に偏らせて不当に分配するものではないか、交付金と引き換えに廃棄物のリスクを貧しい人々に押し付けるものではないかという批判がある。様々な生産活動には多かれ少なかれリスクが伴われるが、消費財を買うときに、お金と引き換えに生産者にリスクを押しつけているという人はいない。廃棄物の場合は、もはや役に立たず、傍において置きたくない危険なものという廃棄物に対する忌避感情が、そのまま、人の嫌がる仕事に携わるからには貧しさから金がほしくてするのだろうという軽蔑や嫌悪につながっていて、原子力や放射能という言葉も、この感情を強化しているのだろう。地域は、公共の福祉に貢献しようとしているのにそのような軽蔑の対象にされるくらいなら、処分に関わらないでおくほうを選ぶ。廃棄物の処分の問題は20世紀後半に顕在化してきた新しい社会問題である。廃棄物の処分は、安全な生活環境を維持するという重要な便益を社会に与えるもので、持続的社會にとって必要不可欠な仕事であるということを、これからの社会は認識する必要がある。

もちろん、放射性廃棄物の処分施設が、その近傍に住む人が誰であれ、人々に過大な危険をもたらすようなものであれば、そのような施設は建設されるべきではない。しかし、その施設が住民に大きなリスクをもたらさないことが保証され、同時にその住民を含めた社会全体のより安全な生活環境をもたらすものであるならば、地域にそれなりの対価を支払って、社会が抱えている問題を解決するために協力してほしいとお願いすることは考慮に値するのではないだろうか。

では処分施設が大きなリスクをもたらすことはないということを誰が決めて誰が保証するのか。科学技術に支えられた分業化社会では、科学技術によって多大な便益をもたらされるが、それと同時に副作用としてのリスクが付随する。その技術を社会として採用するかどうかを判断するには、その便益とリスクを評価することが必要となる。個人としては、人々は、他人との会話や様々な

メディアを通じて得た経験的知識により直観的に類推して評価する。しかし、自然がもたらす危険とは違い、新しい技術からもたらされる副作用としてのリスクは、経験や伝聞からの直観的類推では評価できない。このためには、認められた手続きとプロセスに従った専門家集団による作業が必要となり、人々はそれを信頼して、社会として全員がそれに従うことになる意思決定の助けとする。

社会的問題の解決のために、様々なオプションを考え、そのオプションのリスクと実現可能性を評価し、受け入れ可能な最良のオプションを選択するのは国と政府の仕事である。国や政府あるいは公的機関のすることは、個々人にとっては不満の残ることが多く、その分信頼されていないかもしれない。しかし、国や政府以外に、政策オプションを評価するために、十分な財源と人材を投下して評価を実施することのできる主体はない。その上、政府は、どのような民間部門あるいは非営利団体よりも公正中立な立場で、公益に奉仕し国民の生活する社会基盤を整備するように定められているし、様々な手続きを通じて、ステークホルダーの意見を取り入れて、その公正性、中立性を保証しようとする。このような仕組みを通じて社会的意思決定をしようというのは間接民主主義社会の約束である。

高レベル放射性廃棄物の地層処分の提案における主張は、「地下深部は、世界中のどこであるかによらず普遍的に、変化が非常に緩慢で、廃棄物が固体として埋設された場所が、地表の天変地異や人間等の活動、あるいは地表と地下を巻き込んで起こる火山・火成活動や断層活動、隆起・侵食などの影響を受けない場所であれば、放射性物質は、その放射線学的影響が無視できるレベルになるまでの長期にわたり、隔離され、閉じこめられたままになる。」というものである。

この主張が実現されるということを確認するためには、文献調査、概要調査、精密調査を経て建設操業から閉鎖後管理に至るまでのそれぞれの段階で、その時点までに得られる情報をもとに目的達成の見通しの十分性を評価する。このためには、多岐にわたる分野の専門家が

協力して、科学的知識、工学的知識を正しく理解して統合することが必要となる。この評価結果は、国民の意思決定を左右する重要な情報となるので、実施主体が評価の内容を文書にまとめ、厳密に科学論理に従っているかどうか、他の価値判断によるバイアスが混入していないかどうか、内部レビュー、外部レビュー、国の実施側、規制側のレビューなどの形で、立場の違う者によって確認される。

問題は、政府の付託を受けて科学者が行う専門的知識による評価とその結果の全体像が、非専門家はおろか、個々の分野の専門家さえも、限られた範囲の直観と経験では把握できず、評価の結果を共有できないことである。しかも、科学者は、与えられるリスクは非常に小さいことを示すことはできても、絶対的な断言や約束はできない。科学的探究の特性は、全ての可能なリスクがないことを証明することはできないことである。

このプロセスでは、専門家は意思決定のための助けをしているだけであるといっても、結局は、政府が人選した専門家がリスク政策を一手に握っていて、意思決定の主体であるはずの公衆は、納得が得られないため、十分なコントロール感を持つことができない。

こうした情報の非対称性のあるところでは、人は容易にリスク認知心理学の第一人者であるポール・スロビックのいう感情ヒューリスティックにとらわれてしまう。ヒューリスティックとは、人が意思決定あるいは判断をするときに、厳密な論理で一步一步答えに迫るのではなく、経験からの類推に基づいて直感で素早く結論に到達する思考法のことであるが、このときに好き嫌いだけで判断をし、理由を後付けてその判断に自信を持つのが感情ヒューリスティックである。価値観に従って意思決定しようとして、価値観を反映する感情に流されて状況判断を誤る、あるいは先入観による思い込みで事実誤認をすることである。感情ヒューリスティックのたちの悪いところは、意思決定の判断と状況判断(リスク評価)が区別されないため、本人が全く気付かないどころか、無意識に不都合な情報を排除し、判断を強化する情報ばかりを集めて自信過剰になり、誤りを指摘されると、元となる価値観を否定されたかと思つてますます頑なになり、価値観の正しさ、自分の正義感を主張するために感情的かつ過激になるところである。

原子力や放射能、廃棄物などの言葉は、原子力政策に対する反対意見や放射能に対する恐れ、もはや再利用することのない廃棄物に対する忌避感を通じて嫌悪や忌避の感情を呼び起こす用語である。高レベル廃棄物は潜在的危険性の高いものであり、地層処分は、この危険性を極小化しようという取り組みであるが、人々は、高レベル廃棄物そのものに付随する潜在的危険性に目を奪われてしまい、処分事業はこの危険性の押し付け合いであるととらえてしまう。専門家の示す無視し得るリスクは、

人々にとっては、ゼロでないリスクが他者により付け加えられることである。非常に小さい確率が無視できるかどうかは、そのリスクの出所が好きか嫌いによって決まる。「自然に」がんになるのは仕方がないと諦めるが、他者がリスクを与えるのは絶対に許せない。いかなる追加のリスクも無視し得るとの約束は慰めにはならず、大きな危険を隠ぺいする政府や科学者の屁理屈としてとらえられる。また、科学でさえも不確実性が残るのだから信頼できないといって、科学的に確実であるとされる部分、すなわち専門家により提示される評価の内容と結果さえも心情的に全否定して、提示されるリスクは信用できないと考える。

国や政府あるいは科学者が、社会的意思決定として“受け入れ可能なリスク”を提供して、公衆が受け身の疑心暗鬼の立場から“絶対的安全”を要求するとき、誤解と不信の感情によって築かれた壁は、言葉のやり取りでは越えられない。公衆が、事実誤認に陥らないようにするには、差し出されたオプションのリスクがゼロかどうかを考えるのではなく、自分たちは常にいくつかの実現可能なオプションを比較して最善のオプションを選ぼうとしていること、オプションの選択は、自分が現実にその運命を受け入れることであり、他人にもその運命を強制するものであるという認識を持つことが必要である。

世の中には、感情ヒューリスティックにとらわれてその信念のもとに、感情の表れである激昂や空想的理想とともに主張されている様々な賛成意見や反対意見がある。その中には対案あるいは代替案のない反対意見もある。一見もっともらしく見えるし、感情は科学より心に迫る。しかし、私たちは何らかの運命を選ばなくてはならない。対案のない反対意見は、実は、その問題解決のために何もしないでおくという将来を社会に選択させるという提案である。私たちの意思決定は常に自分と他人を委ねることになる将来に対する複数のオプションからの選択である。責任のある良い社会的意思決定をするには、複数のオプションに対し、安全性と実現可能性を「同じ批判的物差しを使って」評価する態度が必要である。この態度を通じて、世の中の様々な意見が建設的な提案であるのか、それとも感情をあおるだけのものであるのかを見抜くことが、感情ヒューリスティックに陥らない第一歩である。

(2015年5月25日記)

— 参考文献 —

- 1) 総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会地層処分技術WG:「最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価」平成26年5月。
- 2) ダニエル・カーネマン:「ファスト&スロー」, 早川書房(2012)。



地方自治と原子力防災計画

「今だけ」「金だけ」「自分だけ」の原発政策に引き裂かれた“被害地元”の知事として



嘉田由紀子 (かだ・ゆきこ)

前滋賀県知事、
びわこ成蹊スポーツ大学学長
京都大学大学院・米ウイスコンシン大学大学院修了。滋賀県立琵琶湖博物館総括学芸員、
京都精華大学教授を歴任し、2006年滋賀県知事。2014年より現職。著書に『いのちにこだわる政治をしよう!』『知事は何かができるのか』『環境社会学』など多数。

原発再稼働反対への4つの理由

3.11事故からまる4年が過ぎた。原発再稼働にむけて多くの関係者が寝食忘れて頑張っておられる。その事を知りながら、今の日本では再稼働をするべきではない、という思いを私はますます強めている。理由が四つある。

ひとつは「3.11で止まった町」の人びとの受難の苦しみと同様の被災地をこれ以上ひろげてはいけない、という人間としての倫理観からだ。私自身、滋賀県知事として福島支援を行うなかで、まる4年間じっくりと地元へ寄り添ってきた。その結果、一言でいえば被災者の居住権や幸福追求権など、日本国民であれば守られるべき基本的人権が守られていないことが分かった。特に原発立地点から30~50キロ圏という地域(福島でいえば南相馬市や飯館村等)は、立地交付金などの受益を得ることなく、原発事故の被害だけをこうむる「被害地元」である。意見を聞いてもらえず、事故が起きたら結果的に被害だけを受忍せよという状況は、多くの原発地帯で「明日は我が身」と不安を増強する。心優しい福島の被災者の皆さんも「福島でおわりにしてほしい」と願っている。

二点目は、昭和30年代以降の日本の原子力政策の「安全神話」をつくりあげてきた歴史のプロセスを環境社会学者として研究しながら、3.11以降の電力会社や政治家、行政府や研究者が社会的・道徳的にあまりにも無責任であり、この人たちに日本人の未来、特に孫子の未来を託してはならない、という社会的不信がますます高まってきたからである。これは個人や個別組織の問題というより、危険技術を受け入れ使いこなすだけの社会的制度と精神風土が日本の行政・政治・研究組織の中に本質的に欠けているということだ。四つの事故調査委員会の提言を表向きだけなぞり、国民の意識調査の結果などどこふく風と「世界一安全な基準」と根拠のない安全神話を総理大臣がばらまいても誰ひとりそれを糺す側近がおらず、再稼働にまい進しようとしている「原子力カムラ」の

社会的構図に信頼が置けないからだ。

三点目は今、日本のエネルギー政策の安定化や、電気料金の高騰から日本経済を守るために原発再稼働が必要と主張している電力会社や行政府の主張には、長期的な日本の経済や雇用、そして国民の幸せを埋め込む戦略も論理も感じられないからである。地球的にみても地震多発地帯のこの日本列島の、地震多発時代に入ってしまった今、ハイリスクの原発に依存し続けなければならない、という政策的有利性が見えない。もう一度日本が原発事故を起こしたら日本は国際的信頼を失い、一人前の国家として認められないだろう。過去三年間、毎年ヨーロッパに出かけた。どの国でも「なぜ日本は原発を推進し続けるのか」と詰問された。国家主権にかかわる問題である。今こそ、「脱石油」「脱ウラン」という人類として避けて通れない持続的な地球の未来に向けたエネルギー・経済政策を長期的に練って、今足下から一歩ずつ積み上げていく戦術こそが日本経済の強化戦略ともなりえ、国家としての政治的価値を高めることになりうる。

四点目は、アメリカなど諸外国での原発稼働には不可欠な、万一の事故時に被害を最小化するための地域防災計画や避難計画が不十分で信頼できる状態にないからである。そもそも安全神話の中でつくられてきた「地域防災計画」の「原子力災害編」は、その内容づくりは自治体に丸投げで、責任をもつべき国としての人・予算・内容が伴っていない。地域防災計画の責任をもつべき知事として学んだ経験から看過出来ない問題提起である。

ふるさとを離れ、家族離散を強いられた苦しみ

滋賀県は、3.11事故が起きた3日後の2011年3月14日には、関西広域連合のカウンターパート支援の一環として、福島支援の先行隊を福島市に送り込み、そこに滋賀県連絡事務所をつくり、福島から滋賀への避難者受け入れ、支援物質の送付、県職員の派遣等進めてきた。知事として頻繁に現場訪問も行った。その結果、年月を経

れば経るほど福島の実状は厳しい事を学んだ。事故直後はまだ希望があった。いつかふるさとへ帰れるかもしれない。しかし、南相馬市や富岡町、大熊町など、人っこひとりいない町を繰り返し訪問し、ふるさとを追われた人たちの思いに寄り添う中で、「こんな苦しみはもう福島でおわりにしてほしい」と絞るような声に何度も出会った。孫子とともに土地を肥やし、天塩にかけて牛を育て、農業で幸せに暮らしていた老夫婦は仮設住宅に取り残され「死ぬまでには家にかえりたい」と訴える。子どもの健康不安をかかえる母親たちの苦しみ。父親と母親の認識のずれから離婚に追い込まれた家族。こんな不条理なことはない。福島は決して他人事ではない。「次は我が身か」と地震多発時代に生きる日本中が不安をかかえる。

事故調査の未完性、危険技術を受け入れ使いこなす社会制度・精神の欠如

二点目の理由にかかわらず、3.11後の政府や電力会社の動きをみると、日本は近代法治国家として、原発のような危険性の高い技術を安全に使いこなす法的、社会的制度に不備があることがますます明らかになっている。そもそもまる4年もたっているのに、今だに福島原発事故の原因究明ができていない。具体的には「国会」「政府」「民間」「東電」という4つの事故調査がなされ、事故原因の究明や対応検証、事故の背景分析、後の原子力政策を見直すための提言がなされた。国会事故調は事故の根源的原因として、規制側の政府と規制される側である東電が逆転関係に陥り、原子力安全についての監視・監督機能が崩壊していた点をあげ、「今回の事故はあきらかに「人災」である」と結論づけ、原子力規制に対する提言をまとめた。政府事故調は「事前の事故防止策・防災対策、事故発生後の発電所における現場対処、発電所外における被害拡大防止策について様々な問題点が複合的に存在した」とし、大規模な複合災害の発生を視野に入れた安全対策や地域防災を含んだ対策を求めた。それに基づき民主党政権下の2012年9月には原子力規制委員会が発足し、地域防災計画の策定も地方に義務付けられた。しかし、その後の規制委員会の動きは、特に自民党政権成立後の委員の人選や職員のノーリターンルールなど、事故調査委員会の提言が活かされず、原子力ムラの内部論理が復活してしまった。地域防災計画も決して信頼できるものではないことも知事経験から述べたい。

琵琶湖研究者でもある知事としての4年間の奮闘

知事時代の私自身の使命は、一言でいえば、滋賀県知事として県民の命と琵琶湖を放射能汚染から守るための仕組みをつくること、その一点につきた。40年間琵琶湖環境を研究してきた経験を活かそうとした。しかし結果

として実効性のある計画づくりはとうてい無理だとわかった。川内原発の再稼働にあたって、伊藤祐一郎鹿児島県知事が10キロ圏を超える要援護者の避難計画は現実的ではないと逃げるのも、知事として無理もないと思う。ただ、伊藤知事のように避難計画ができなくても再稼働を認めるというのは「棄民政策」でしかない。為政者としての当然の責任と倫理はどこに行ったのか？

3.11の直後、直近の原発から13キロしか離れていない滋賀県を預かる知事として、リスク予測を行い防災計画をつくるため、若狭湾岸の原発事故のリスク情報「SPEEDI(緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム)」データの提供を国に求めた。管理元の文部科学省に何度も要望したが「地元以外には出せない」とつれない返事。そこで、滋賀県の琵琶湖環境科学研究センターに指示し独自の拡散シミュレーションを行い、事故の半年後には公表し、その結果をもとに滋賀県独自の避難計画づくりにはいった。広域避難として、大阪府や兵庫県など関西広域連合とも協力して合計6万人近く、湖北・湖西の196自治会別の避難場所の指定もした。この時に国から「滋賀県は地元ではない」と言われ、「立地地元」に対して「被害地元」という言葉を生み出し、使い広めてきた。地域自治としてのせめてもの抵抗表現だった。

そして避難計画づくりを進めるにつれ、その実効性を担保することの困難さに直面した。自家用車の避難は困難だとし、500台以上のバス移動を計画したが、汚染地帯に運転手を送り出す権限は知事にはない。ヨウ素剤の配布・服用規定も現実的に国は示さない。後々「医師の指示を受けて服用」というガイドラインがでたが、医師数が少ない農村部で医師確保は無理だ。そもそも、原発政策は国の権限と勝手に決め、地域防災計画の法的責任だけを自治体に丸投げしたままの再稼働などあり得ない。

万一関西圏1450万人の命の水源地である琵琶湖が汚染されたら関西圏に人が住めるのか？代替電源はあっても琵琶湖の代わりはない。「今だけ」「金だけ」「自分だけ」の政府方針に、「被害地元」として命と暮らしを守ろうとすればするほど、自治体首長は引き裂かれたまま苦しみと奈落に落とされてきた。

そして今、まさに「琵琶湖の番人」として美しい琵琶湖を次の世代に手渡したいという強い決意で、琵琶湖畔に住まいをして、日々スポーツに汗する若者の教育に当たっている。この学生たちが生きていく今後40年～50年間も、若狭湾岸の原発は安全なまま管理できるのか、と不安をかかえている。将来が長い若者教育にあたる教育者こそもっとも息の長い行政、政治、環境保全を求めるべきでせう。出口はまだまだみえそうにない。

(2015年5月16日記)

連載・福島からの風 第6回

福島を正の遺産へ：災後の歴史を編むために

相馬中央病院 内科診療科長 越智 小枝

私は東京育ちの内科医であり、震災直後の英国留学を機に災害公衆衛生に関わるようになった。被災地の現場への興味から2013年より相馬中央病院で常勤医として勤務している。相馬での生活は、私にとって生まれて初めての「首都圏外」の生活であり、日々学ぶことが多い。今回はそのような「国内留学生」の雑感を書いてみたい。風化と戦うために

いま、福島が直面している一番の問題は、事件の風化であろう。現地の人々の風化しない怒りや悲しみとは裏腹に、人々の耳目はより新しい、より強烈な不幸を求めるものである。シリアの紛争、エボラの大流行、ネパールの大地震…世界各国で日々事件が発生する昨今、福島の災害が風化することは、避けられない。

そのような中、過去のニュースを繰り返すことによって風化を防ごうとする努力は意味のない行為であろう、と私は考えている。これは原発事故という事件を繰り返すことに意味がない、という意味では決してない。逆に、復興よりも不幸を売り続けることで、福島に起きているポジティブな側面を無視することが、むしろ復興を阻み、原発災害を「単なる負の遺産」におとしめる一因となっているのではないかと懸念するのである。

福島を正の遺産

福島には、災後の無形文化ともいべき知恵が蓄積されつつある。これは原発事故の負の遺産があるからこそ生まれた哲学や社会の成熟だともいえる。

たとえば、現在の福島の人々の公民意識の高さ。これが日本政府への不信から生じたという点では、良い点ばかりとは言えない。しかし猫も杓子も「政府の責任」の一言で片づけようとする昨今の風潮を見るにつけ、この自主独立の文化を外の人にも学んでほしいと思う。

また、低線量被ばくの議論により生じた、「意見の異なる人々の共存」という貴重な文化。今福島では、放射能を怖がる人も、怖がらない人も、お互いを排斥せずに住み分け、時には同じ場所で話し合う事すらできている。これは議論と言え常互いを排斥することに終始してしまう日本において、本当の意味での discussion のできる文化を得るよい機会である。今後、日本国中の人々が福島の議論に学ぶべきではないだろうか。

善意の弊害

このようなポジティブな福島の発展を阻む、最大の障壁は、誤った方向性を持つ「善意」である。とくに、福島

に大義を持ち込む“専門家”の存在は、大きな障害になっていると感じる。

「客観的事実」

「冷静な議論」

「安全より安心を」

「国全体の利益」

このような発言は、使い方さえ間違わなければ正しい意見である。しかし前提として、福島の人々が個人の感情よりも客観性や国益を優先させなくては行けない義理はない、ということは、忘れてはならない。

極論を言えば、福島の人々が、低線量被ばくに対し安心する義務はないのである。むしろ放射能に対する根強い恐怖を暴露するたびに「感情的だ」「わかっていない」と抑圧されることこそが、歪んだ感情へとつながり得るのではないだろうか。

そもそも専門家とはだれを指すのであろうか。誰も経験したことのない長期低線量被ばくを体験している福島においては、福島の住民こそが「専門家」である。すべての「支援者」は、その専門家に学ぶために福島に入っている、という意識を忘れてはならないと思う。

未来への責任

原発事故から4年。原発と原発事故の負の遺産は、確かに存在する。しかしそれをただ糾弾するのではなく、ここから得られた知恵を可能な限り正の遺産へと変換し、子孫に残すことこそが、私たちの義務である。

歴史とは、その後の人々の生き方次第で正にも負にも変わり得る生き物だ。原発事故を単なる負の遺産におとしめるのか。それとも福島の葛藤から生まれた知恵と文化を正の遺産たらしめることができるのか。福島の災後に関わるすべての人間の知恵が問われている。

(2015年5月20日記)

著者紹介

越智小枝（おち・さえ）

1974年東京生まれ。1999年東京医科歯科大学医学部医学科卒業後、東京で内科・膠原病科医として10年ほど勤務した後2011年インペリアルカレッジ・ロンドン公衆衛生大学院に留学。世界保健機関、Public Health Englandのインターンを経て2013年11月より相馬中央病院で内科診療科長として勤務。JBプレス(<http://jbpress.ismedia.jp/>)にコラム連載中。剣道6段。



このコーナーは各機関および会員からの情報をもとに編集しています。お近くの編集委員(目次欄掲載)または編集委員会 hensyu@aesj.or.jp まで情報をお寄せ下さい。

「原子力総合シンポジウム」で人材育成などを議論

日本原子力学会ほか、関連学協会共催の「原子力総合シンポジウム」が7月16日、東京・六本木の日本学術会議講堂で開かれた。原子力事故調査などにより前回から4年ぶりの開催となった今回の総合シンポジウムでは、「原子力の将来のあり方」をテーマに掲げ、今後の研究炉利用など、原子力基礎科学に立脚した人材育成を焦点にパネル討論が行われた。

パネル討論では、ファシリテーターを務めた東京大学工学部教授の上坂充氏が、新規規制基準対応に伴い、すべての研究炉が停止し再稼働の見通しが不透明な現状を述べ、原子力人材育成基盤の長期欠落がもたらしつつある中性子科学の停滞、利用者の海外流出などの影響を懸念し、議論に先鞭を付けた。

これを受け、京都大学原子炉実験所長の川端祐司氏は、同学の研究炉「KUR」、「KUCA」を用いた共同研究を推進する「くまとりサイエンスパーク構想」や、全国の学生を対象に実験教育を施す「原子力安全基盤プロジェクト」を紹介し、早期の原子炉再稼働実現に努めているとしたが、必要な人員・予算の確保や施設の高経年化が課

題となっている現状を憂慮した。さらに、近畿大学原子力研究所長の伊藤哲夫氏も、研究炉「UTR - KINKI」を用いた学校教員対象の原子炉研修会の実績を述べ、再稼働への意欲とともに、今後、研究炉の老朽化に鑑み「引継炉」計画の具体化を訴えた。

また、三菱重工の技術者で日本原子力学会教育委員会委員長を務める浜崎学氏は、原子力技術・研究者によるCPD(継続研さん)啓発に向けた学協会の連携を提唱し、研究炉利用に関しては、「シミュレーターでは理解できない」として現場体験の重要性を強調した。

研究炉再稼働でまず課題となる規制基準については、放射化学教育に関する発言で登壇した原子力委員の中西友子氏が、海外の状況から「時間とともに変わっていくもの」などと述べ、見直しの必要を示唆した。

討論を踏まえ、原子力学会の上塚寛会長は、今後の研究炉のあり方について検討するチームを近く始動する考えを述べた。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

科技白書、原子力人材ロードマップ作成を紹介

政府は6月16日、平成27年版科学技術白書を閣議決定した。

同白書では原子力の平和利用に関する取組について、日本は国際原子力機関(IAEA)や米国等と協力し、核不拡散及び核セキュリティに関する技術開発や人材養成における国際協力を先導しているとした。2014年の核セキュリティ・サミットの開催に合わせ、日本原子力研究開発機構の高速炉臨界実験装置(FCA)の燃料(高濃縮ウラン及びプルトニウム)を米国へ輸送すること等を日米首脳の間で共同声明として発表した例などを挙げ、このような取組を通じて原子力の平和利用に関する国際的信頼を得つつ、核不拡散及び核セキュリティに関する人材育成や技術開発における国際協力を推進しているとした。

原子力に関する研究開発については東電福島第一原子力発電所事故を踏まえ、原子力災害からの復興に資する廃炉や除染に向けた研究開発を推進し、原子力の基盤と安全を支える研究開発や人材育成等に取り組んだと説明している。またエネルギー基本計画を踏まえ、総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会の下に「自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループ」が設置されて軽水炉安全技術・人材ロードマップの作成に向けた議論が行われたこと、「もんじゅ」実施体制の再整備等の克服しなければならない課題について対応を行ったことについて触れている。核融合および核不拡散・核セキュリティに関する技術等の研究開発についても、必要な取組を実施したとしている。

原子力損害報告を閣議決定

政府は6月19日、福島第一、第二原子力発電所事故に伴う損害に関する報告書を閣議決定した。原子力損害賠

償法に基づき国会への提出が求められるもので、2015年5月29日時点の原子力損害の状況、政府のとった措置、

賠償の進捗状況について取りまとめている。

原子力損害については事故発生以降設定された警戒区域、計画的避難区域、緊急時避難準備区域、帰還困難区域、居住制限区域、避難指示解除準備区域の政府指示により、「多数の住民が避難を余儀なくされ、避難指示等の対象区域の住民の生活はもとより、これら区域における経済社会活動にも大きな影響が生じている」と述べている。また、商品・サービスの買い控えといった風評被害については、福島県にとどまらず広範囲に及び、農林漁業、食品産業、観光業、製造業、サービス業では影響が大きく、輸出や外国人観光客の減少など、海外との関係

悪化にもつながっているとしている。

原子力損害賠償については、文部科学省に置かれた「原子力損害賠償紛争審査会」による指針策定や、「原子力損害賠償紛争解決センター」による和解仲介の経緯を述べている。原賠法に規定する補償契約に基づき政府が東京電力に支払った補償金は福島第一で1,200億円、福島第二で689億円、また、政府援助の枠組みとして設立された原子力損害賠償・廃炉等支援機構で、9兆円の国債交付を財源とした特別資金援助を行っていることなど、政府による賠償措置について説明している。

緊急作業時の被ばく限度が 250 ミリシーベルトに

厚生労働省の労働政策審議会は6月18日、原子力事故対応などの緊急作業において100ミリシーベルトの被ばく限度によることが困難な場合、250ミリシーベルトまでの範囲で「特例緊急被ばく限度」を厚労相が定めることを盛り込んだ電離放射線障害防止規則の改正案を了承した。2016年度からの施行を見込んで今後、放射線審議会へ諮問される。厚労省では2014年末から専門家会議を立ち上げ、福島第一原子力発電所事故に伴う緊急作業従事者の健康管理や被ばく線量管理に関する検討を行

い、5月に報告書を取りまとめた。これを受けて、今回の省令改正が審議会に諮問され答申となったもの。

改正規則では緊急作業従事者の限定、被ばく線量管理の最適化、線量測定結果の確認・記録・報告のほか、作業従事者に対する特別教育、健康管理について定めている。

原子炉等規制法の範囲で定める、いわゆるオンサイト対応の関係規則改正についても、5月に原子力規制委員会で、緊急作業時における被ばく線量限度を250ミリシーベルトとする考え方が示されている。

放医研が「量子科学技術研究開発機構」へ

参議院は7月1日、「国立研究開発法人放射線医学総合研究所法の一部を改正する法律案」を可決した。来年4月1日より放射線医学総合研究所と日本原子力研究開発機構の量子ビーム・核融合部門を統合し、名称を「量子科

学技術研究開発機構」とする。統合により最先端がん治療システムのさらなる高度化及び普及促進、最先端の分子イメージング診断やRI内療法等の放射線医学に関する研究開発力の強化などのシナジー効果を狙う。

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【国際】

イラン、年内に核開発疑惑を解明する工程表

国連安保理5か国とドイツが7月14日にイランの核開発疑惑を解決する包括的共同行動計画(JCPOA)で同国と最終合意したのに伴い、国際原子力機関(IAEA)は同日、「イランの原子力プログラムにおける過去から現在までの未解決問題解明に向けたロードマップ」で同国と合意した。IAEAの天野之弥事務局長とイランのA.サレヒ副大統領兼イラン原子力庁(AEOI)長官がウィー

ンで同ロードマップに調印。これに明記されたプロセスやスケジュールに沿って、天野事務局長はイランの原子力プログラムに軍事的側面が存在した可能性について、年末までに評価することになる。

天野事務局長は声明の中で、同ロードマップのプロセスや一連の活動は2013年11月に両者が合意した協力枠組に基づいて設定されたと指摘。活動内容として、未解決問題に関するイラン側からの説明や専門家による技術会合、技術的措置、協議が行われるほか、核兵器関連の重要活動が広範囲に行われた疑いのあるパルチン・サイト関連の問題については別途調整することが含まれると説明した。ロードマップに明記された主な合意事項は以

下の通り。

- ・2011年のIAEA事務局長報告・付属文書に基づいて未解決問題に取り組むとし、これまでにイランとIAEAが行った関連活動と結果がプロセスに反映される。
- ・イランは未解決問題に関する説明文書と関連文書を8月15日までにIAEAに提出する。
- ・IAEAはイラン文書から得た情報を9月15日までに審査し、不明な点があればイランに質問状を提示する。
- ・IAEAが質問状を提示した場合、不明部分を取り除くための技術専門家会合、技術的措置、および協議をテヘランで実施する。
- ・パルチン・サイト関連の問題については別途調整する。
- ・上記の活動はすべて10月15日までに完了する。
- ・IAEA事務局長は同ロードマップの実施状況を理事会に定期的に報告する。
- ・IAEA事務局長は12月15日までに最終評価を理事会に提示し、事務局長報告を発行する前に技術確認最終会合をイランとIAEAの間で開催する。

【サウジアラビア】

ロシアと原子力平和利用の協力協定に仮調印

ロシアの原子力総合企業ロスアトム社は6月18日、ロシアとサウジアラビア両国の政府が原子力平和利用分野における2国間協力協定に仮調印したと発表した。サウジが今後20年間に計画している16基、約1,800万kWという原子力発電設備の導入に積極的に参加していくことが目的。他の原子力導入国に対する協力と同様、原子炉の設計・建設のみならず、専門の人材育成を含めたトータルな協力枠組を構築する方針だ。

調印はロスアトム社のS. キリエンコ総裁とサウジの原子力発電導入担当機関「アブドラ国王原子力・再生可能エネルギー都市(KACARE)」のH. ヤマニ総裁が行った。両国の原子力協力の法的基盤となることから、ロシアからの支援項目は多岐にわたる。すなわち、海水脱塩炉と粒子加速器を含めた発電炉と研究炉の設計・建設・運転・廃止措置に加えて、核燃料サイクル・サービス、使用済み燃料と放射性廃棄物の管理、放射性同位元素の生産およびその工業・医療・農業利用、原子力分野の専門家の教育訓練など。協力を具体的に進めるため、調整委員会を設置して原子力平和利用に関する詳細なコンサルティングを行うほか、個々のプロジェクトや研究、専門家と科学技術情報の交換、セミナーやワークショップの開催、科学技術関係の人材育成支援のための共同ワーキング・グループも設置するとしている。

サウジの原子力導入計画に対しては、原子力先進各国

が受注獲得のためにしのぎを削り始めており、韓国は今年3月、サウジで2基以上のモジュール式中小型炉の建設を目指した了解覚書に調印。海水脱塩と電熱併給が可能なモジュラーPWRとして韓国原子力研究所(KAERI)が中東諸国向けに設計した「SMART」炉の建設可能性を審査する。また、アルゼンチンは国営のINVAP社とサウジ国営の技術開発投資企業を合併させた「INVANIA社」を3月に創設。加圧重水炉3基の運転でアルゼンチンが培ってきた経験と能力をサウジの計画に役立てたいとしている。

EPR建設のFS実施でフランスと合意

サウジアラビアの原子力導入計画を担当する「アブドラ国王原子力・再生可能エネルギー都市(KACARE)」は6月24日、フランス・アレバ社製の欧州加圧水型炉(EPR)を国内で2基建設することを想定したフィージビリティ・スタディ(FS)の実施協力でフランス外務省との基本合意書(LOI)に調印したと発表した。サウジによるフランス製軍用ヘリの購入など、両国が合意した120億ドルの取引の一部という位置付け。サウジの防衛大臣を務めるサルマン副王太子がフランスのF. オランダ大統領を公式訪問したのを機に、両国政府が2011年2月に結んだ原子力の平和利用に関する協力協定の下、KACAREのH. ヤマニ総裁とフランスのL. ファビウス外相が署名を行った。

KACAREはまた同日、放射性廃棄物管理に関する了解覚書をフランスの放射性廃棄物管理局と、放射線防護に関連する長期的な技術協力のための了解覚書をフランス放射線防護安全研究所(IRSN)と締結した。前者の目的は廃棄物管理分野の政策実行や基準・ガイドラインに関して双方が機能強化を図ること。後者では、国民や環境、将来の世代を放射線の悪影響から防護するノウハウや慣行、経験の共有を目指しており、環境モニタリング活動や核燃料・放射性物質の輸送と保障措置、原子力施設における放射線防護——などに関するシステムやガイドライン、規制・基準等について実行機能の改善を図っている。

【スウェーデン】

深地層処分場計画の立地・建設審査で暫定結果

スウェーデン放射線安全庁(SSM)は6月24日、同行が2011年から審査中の使用済み燃料深地層処分場計画の立地・建設許可申請について第1回目の暫定評価結果

を公表し、全体的な評価の結論を出すには時期尚早としつつも「原子力安全・放射線防護基準を満たせる見込みがある」との見解を表明した。追加的な暫定結果も年末に公表予定で、2016年春に認可申請全体に対する見解を国土環境裁判所に提出。その翌年には包括的な最終評価結果を政府に提示する計画であることを明らかにしている。

使用済み燃料の処分事業主体であるスウェーデン核燃料・廃棄物管理会社(SKB)は2009年、エストハンマルのフォルスマルク原子力発電所・隣接エリアを深地層最終処分場建設サイトに選定。地下500メートルの結晶質岩盤中に12,000トン(ウラン換算)の使用済み燃料を直接処分するため、2011年3月に立地・建設許可をSSMと国土環境裁判所に申請した。現在、両機関がそれぞれ、原子力法と環境法に基づく審査を実施しているところで、SSMは今回、建設・操業期間中の安全性・放射線防護に関する評価のみならず、廃棄物の搬入が完了し処分場を閉鎖・封印した後に想定される状態についても評価を示している。

それによると、SKBは自らの最終処分コンセプトに基づいて岩盤掘削や、深地層施設内でのキャニスターの取り扱い、廃棄物の定置を行う際に、同国の安全基準を満たすことが可能であると実証した。また、長期的な放射線安全分析の出発点となる処分場閉鎖後初期の状態についても、SSMは慎重にはあるが肯定的に評価したと明言。ただし、少なくとも10万年以上の間、同処分場でどのように放射線安全要求項目を満たしていけるかについては、SKBの説明に対する見解をまとめるため、さらなる調査が必要だと付け加えた。処分場閉鎖時に想定される状態や銅製キャニスターの製造については、未解決課題もいくつか残っており、SSMは提出された文書が现阶段の認可手続きに十分であるか見極めるため、審査作業を続けなくてはならないと説明している。

【フィンランド】

フェンノボイマ社がハンヒキビ1の建設許可申請

フィンランドのピュハヨキでハンヒキビ原子力発電所1号機(120万kW、ロシア型PWR)の建設を計画しているフェンノボイマ社は6月30日、建設許可申請書を雇用経済省(TEM)に提出した。現在、建設サイトでは着工準備のための作業が進展中で、中心的な作業を請け負ったロシアのTITAN2(T2)社は7月から公共インフラなどの準備作業を開始する。フェンノボイマ社は2017年末までにこれらの作業を終え、建設許可が下り次第2018年にも建設工事を始めたい考えで、同炉が発電

を始めるのは2024年になるとしている。

13の付属文書を含めて約250ページに及んだ同申請書には、原子力法に準じて建設サイトや炉型、主要安全システムの特徴、廃棄物管理、資金調達、およびフェンノボイマ社の企業構造などの詳細情報を明記。同社は約60社の電力多消費企業で構成されるボイマ・オサケイティエ・グループの出資企業だが、フィンランド政府は2014年9月に同プロジェクトの「原則決定(DIP)」の補足部分を承認した際、建設許可申請時の条件としてプロジェクトの少なくとも60%はフィンランド企業の保有でなくてはならないとしていた。このため同グループは、内外からプロジェクトへの出資企業を募集。现阶段ではクロアチアの発電・送配電企業「Migrit社」が同グループを通じてフェンノボイマ社株の約9%を保有したことから、プロジェクトの60%が欧州連合(EU)と欧州自由貿易連合(EFTA)所属国の保有になったと主張している。

ただしTEM側では、クロアチア企業の参加が政府の条件を満たしたことになるかについて、時間をかけて審査すると明言。満たさないと判断した場合は、建設許可申請の拒否提案を政府に提出する考えだ。

なお、フェンノボイマ社は同プロジェクトで新たに選定したサプライヤー名を公表。タービン機器はアルストム社のアラベル技術を採用するほか、安全関連の計測機器は英国のロールス・ロイス社がフランスのシュナイダー・エレクトリック社から調達する計画である。

【カザフスタン】

IAEA、低濃縮ウラン備蓄バンクでカザフと協定

国際原子力機関(IAEA)の理事会は6月11日、加盟国に対する低濃縮ウラン(LEU)供給保証メカニズムとなるLEU備蓄バンクの設立に向けて、備蓄施設を立地・運営予定のカザフスタンとIAEAが協定を結ぶことを承認した。不測の事態により世界のLEU市場や国同士の契約、その他の方法によるLEU調達が困難になった場合に備えて、一定量のLEUを備蓄し加盟国に供給するのが目的。2010年12月の理事会で設立・運営計画が承認されて以降、2011年のカザフによる施設の受け入れ提案や技術的項目の詳細に関する両者の作業と交渉を経て、ようやく本格的な実施に向けたホスト国協定の締結にこぎ着けた。同バンクからLEUを輸送する際、ロシア領を通過することになるため、理事会はロシアとIAEAによる通過協定締結も承認している。

IAEAの計画によると、同バンクはIAEAが所有・管理するものの、運営はカザフに一任。カザフの法制・規

制上の要件に則って安全セキュリティを統制すると同時に、IAEAの安全基準とセキュリティ・ガイダンスの関連条項を満たすことになる。備蓄量は100万kW級軽水炉が3年間運転するのに十分な最大90トンで、立地点はカザフ北東部、かつてウスチ・カメノゴルスクと呼ばれていたオスケメン市のウルバ冶金工場内を予定。同工場ではLEUを含む核物質を60年以上にわたって安全に管理・貯蔵してきた実績がある点を指摘した。

また、経費はすべて任意拠出金で賄う計画で、IAEAの通常予算には何の影響も及ばないと強調。拠出金額はすでに約1億5,000万ドルに達しており、内訳は米国の4,900万ドルと同国の民間団体「核脅威イニシアチブ(NTI)」の5,000万ドル、欧州連合の2,500万ドル、クウェートとアラブ首長国連邦(UAE)が1,000万ドルずつ、ノルウェーが500万ドル、カザフが40万ドルに加えてLEUを現物出資。これにより、同バンクの設置と少なくとも10年間の運営が可能だとしている。

【ロシア】

第4世代原子力システムに関する国際フォーラムを延長

ロシアの原子力総合企業ロスアトム社は7月1日、ロシア政府に代わって「第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)」の延長協定に調印したと発表した。経済性や安全性、持続可能性、核不拡散抵抗性など、他のエネルギー源に対する十分な優位性を持つ原子力システムの概念開発を目指す国際協力の枠組で、今年2月に当初の枠組協定期間が満了。日本や米国、フランス、韓国などの締約国は2月26日に、GIF事務局が置かれている経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)で10年間の延長協定に署名済みとなっていた。

今回の調印はロスアトム社のS. キリエンコ総裁とNEAのW. マグウッド事務局長が行った。会社によると枠組協定の延長は、ロシア原子力産業界の科学技術的および商業的な利益にかなっており、同国原子力部門の発展に良い影響が及ぶだけでなく、革新的な原子力技術の世界市場でロシアの経済的影響力を強化するにも役立つ。また、第4世代炉は原子力産業のみならず世界のエネルギー部門全体の将来をも担うとの観点から、この分野の国際協力継続は重要という判断に至ったと説明している。

GIFは1999年に米国がその概念を提唱し、各国に参加を呼びかけた。参加国である12か国と欧州原子力共同体(ユーラトム)のうち、米国、日本、フランス、カナダ、中国、韓国、ロシア、スイス、南アの9か国とユーラトムが、協力の枠組を規定する国際約束(枠組協定)に署

名。ガス冷却炉(GFR)や鉛冷却高速炉(LFR)、熔融塩炉(MSR)、ナトリウム冷却高速炉(SFR)、超臨界水冷却炉(SCWR)、超高温炉(VHTR)の6つの有望システムについて、事業取り決め等を作成し、具体的な研究開発プロジェクトに参加している。

【米国】

ザイオン発電所の原子炉容器の分割に成功

米国でザイオン原子力発電所の廃止措置を請け負っているエナジーソリューションズ社は7月13日、商業炉の原子炉容器(RV)を分割するという大規模作業に米国で初めて成功したと発表した。同社の子会社でザイオン発電所の廃止措置専門に創設されたザイオンソリューションズ社が5月26日、酸素プロパン切断トーチを使ってRVを17分割する作業を開始し、6月26日に最後の切断を終えたという。会社によると今回使われたのは、支持具や吊り上げ機器など特殊な機材を要する先進技術で、米国原子力産業界にとって初の適用例。事故もなく無事に作業が進んだほか、広範囲の設計・分析、モックアップ試験などにより、環境に放射性物質を放出することなく一連の高速切断作業が完了したと強調している。

このほか、今年実施した大規模作業として、同社は使用済み燃料を乾式貯蔵施設に移送したこと、BクラスとCクラスの放射性廃棄物をサイト外に撤去したことを列挙。当初計画では2013年に作業を開始し2032年にサイトの復旧・再利用まで到達する予定だったが、2010年に始まった作業は現段階で少なくとも12年前倒しで進行中であり、2020年にも完了するとの見通しを示した。

【台湾】

台湾電力、龍門原子力発電所の密閉管理準備が完了

台湾電力は6月29日、ほぼ完成していた第四(龍門)原子力発電所1号機を密閉管理するとともに、2号機の建設作業を凍結する準備が30日までに整うとの見通しを表明した。台湾住民の間で反原子力運動がとみに高まったのを受け、昨年4月に馬英九総統と行政院(内閣)が決定した方針に沿ったもの。密閉管理期間は3年を計画しており、この間にすべての機器類を最良の状態に保持する経費は34億台湾元(約135億円)と見積った。将来的に密閉を解くかの判断は住民投票で決まるとしており、低炭素エネルギーのオプションを選択する権利は

次世代の人々に残す考えを示した。

同発電所については昨年7月、経済省の専門家監督グループが1号機の全システム126系統が安全要件に合致していることを確認したのに続き、翌8月に行政院が「停止・密閉管理作業ガイドライン」を發布。今年1月に台湾原子能委員会が具体的な実施計画を承認したのを受け、台湾電力は半年間かけて準備作業を行っていた。同計画によると、システムのうち30系統を乾式保管する一方、原子炉と冷却系は湿式で保管。未完成の2号機の115系統も乾式保管になるという。

【韓国】

米韓両国が改定版の原子力協力協定に調印

米エネルギー省(DOE)の国家核安全保障局(NNSA)は6月15日、ワシントンでE. モニツ DOE 長官と韓国の尹炳世外相が改定版の米韓原子力協力協定に正式調印したと発表した。韓国が切望する使用済み燃料の再処理とウラン濃縮については、将来的な実施に道筋を開く一定の推進活動を許す内容で両国政府が4月に仮調印していたもの。今後、米国では同協定の発効に向けて議会に提出するが、90日の間に否決されなければ同協定は成立し、否決された場合でも大統領の拒否権発動が可能となっている。

NNSAの発表によると、改定協定では使用済み燃料の管理や原子燃料の供給保証などの重要課題に対しては両国が共同で取り組む道筋を明記。原子力セキュリティや両国原子力産業界の協力の促進も含め、双方の目標達成に向けて協議していくハイ・レベルの二国間委員会を新たに設置するとした。4月の仮調印時に韓国外務省が発表した声明文でも、同委員会の下に(1)使用済み燃料の管理、(2)原子燃料の安定供給、(3)原子力発電所の輸出、(4)核安全保障——の4分野についてワーキンググループを置いて常時協議を行う計画が明らかになっていた。

韓国外務省はまた、米国産の核物質や原子力機器などを第三国に自由に移転するための長期的な同意も米国から確保したと明言。原子力輸出を大々的に促進していくため、投資会社や合併会社なども積極的に設立していく方針だ。

国内で2番目に古い月城1号機が新たな認可で運転再開

韓国水力・原子力会社(KHNP)は6月23日、同国で2番目に古い原子炉である月城原子力発電所1号機(カナダ製加圧重水炉、67.9万kW)が100日間の包括的な予防保全整備を終え、94日ぶりに発電を開始したと発表した。1982年11月に初臨界を達成した同炉は2012年11月に30年間の設計寿命を終えて停止したが、今年2月に原子力安全委員会(NSSC)が2022年まで10年間の運転期間延長を承認。認可満了後に停止していた約2年半は考慮されないため、実質的な延長期間は約7年半になる。

韓国では最古の原子炉である古里1号機の継続運転について経済性や地域住民の受容性などを考慮した結果、2回目の運転認可延長申請は行わず2017年6月をもって永久停止することが6月16日に決定した。月城1号機に関しては、安全規制の専門機関である原子力安全技術院(KINS)が審査した上で、同炉が原子力安全法令の技術基準を満たすとともに、大規模な自然災害にも対応能力があるとの結論を明示。NSSCが14時間に及ぶ議論の末、票決で運転期間延長を決定していた。

KHNPによると、運転期間延長に関する安全性評価報告書を17日から同社の月城発電所とソウル事務所で公開中。また、同社は6日に同炉の運転継続に関して地元住民の代表機関とも合意。共存協力基金1,310億ウォン(約146億円)の提供により、地元地域の発展や雇用創出、住民の福利厚生を支援することになる。

座談会

「プルトニウム利用計画の明示を」

3年後に満期を迎える日米原子力協定



遠藤 哲也
田中 伸男
坂田 東一
司会 澤田 哲生

日米原子力協定が、2018年7月に満期を迎える。自動延長される見込みが強いものの、日本ではプルトニウム利用計画が明示されていないために、今の包括同意方式が継続されない可能性もありうる。この方式を継続させるためには、経済産業省や外務省、文部科学省などの関係省庁がこの問題の重要性の認識を共有し、協働して解決への努力をすること。さらには日本として、プルトニウム利用計画を含む今後の核燃料サイクルの進め方について明示する必要がある。

日米原子力協定が2018年7月に満期を迎える

澤田 日米原子力協定が2018年7月に期間の満期を迎えます。この協定は、事前に文書で通告することで協定を終了させることができますが、それがなければ協定の効力は継続します。しかし、例えば核燃料サイクルに関する条項が、今と同じ内容で本当にそのまま継続されるとは限りません。ここではこの問題を便宜上、2018年問題と呼びます。満期まであと3年しかありませんが、この問題にいま誰が関心を持ち、組織としてどこが取り組んでいるのか——大きな疑問です。従来であれば原子力委員会がそのミッションを担っていたのですが、今の原子力委員会が2018年問題を、自らのミッションとしているかどうかは定かではありません。このため今日は、この2018年問題について、外務省や経産省、文部科学省でこの問題に関与されてきた皆さんに、そのポイントと日本の取組み体制についてうかがいます。

遠藤 この協定ができたのは1988年ですが、我々3人はこの時の交渉に、いっしょになって当たりました。協定の任期は30年です。その満期が来る前に、これに対処しなければならぬ。そのためにはいくつかのシナリオがあります。

一つ目のシナリオは、特段何もしないという選択。協定は自動的に延長される。もちろん、事前通告を経て廃

棄される可能性も全くないわけではない。これは、ダモクレスの剣が上からぶら下がっているようなものです。

二つ目は、今の協定内容を修正するというもの。今の協定のポイントは核燃料サイクルの包括事前同意だけでも、それをやめて個別方式に変えるという選択肢がある。ただし、こうなると大変なことになる。

三つ目は、内容はこのままで、手続きを経て20年か30年程度の期間、延長するというもの。

四つ目は、この協定を破棄し、無協定状態になるというもの。

結論から先に言うと、米国は今の日米原子力協定はうまくいっており、変える必要はないという認識がある。けれども米国では来年、大統領選挙があり、それに伴って高官人事の異動がある。それが落ち着くのがたいだい2017年の夏ぐらい。だから、そこまでは流動的な状況が続きます。

第一のシナリオで示した自動延長の可能性は高い。けれども今の日本には、相当量のプルトニウムがある。それを高速炉で使う用途は立っていない。そこで六ヶ所の再処理工場を稼働させれば、プルトニウムの保有量はさらに増える。だとすれば、このプルトニウムはプルスールで使うしかない。米国には、日本のこのプルトニウムをめぐる不透明な見通しに懸念がある。この点が、大きな問題だと私は思います。

澤田 六ヶ所再処理工場の運転の見通しは、規制もか

なり厳しい対応をしている中で、なお一層不透明要素が増していると思います。これについては、どこかが政策的にきちんと受けとめて調整を図る必要がある。

遠藤 しかし、今はそのための司令塔がない。

田中 米国は確かに、自動延長でいいと言っているようです。しかし、自動延長になれば、日米の一方が一方的に事前通告すれば、いつでも破棄出来ることになります。これは常にダモクレスの剣が上にある一触即発状態にはかなりません。つまり、日本の原子力政策を不安定にします。要するに米国は、日本の再処理や核燃料サイクルを、いつでも止められるということになる。けれども文科省や経産省、規制委員会、電事連にしても、静観のかまえて、その自動延長を期待している。けれども、それはとても楽観的な発想ではないかと思っています。この司令塔がないということは、2018年問題だけではなくて、原子力全般にしてもそれは言える。

軽水炉についてはこれから再稼働するものがあるものの、一方で廃炉になるものがどんどん出てくる。その先をどう考えるのか。再処理や「もんじゅ」はどうするのか。より安全な統合型高速炉や、金属燃料乾式再処理路線に踏み出すのか。さらには福島廃炉に伴って発生するデブリをどう処理するのか。そこでは米国や韓国とも共同でやる必要はないのか。そういう大きなビジョンを持っていないと、米国に対しては説得力に欠ける。したがって、そういうことを考える体制をつくり、手を打っておくことが、2018年問題を乗り切る方法なんです。黙って自動延長を待つという選択はない。日本国内では福島事故後、反原発派の勢いが強く、これに米国の核不拡散の動きが加われば、自動延長がつぶれる可能性がある。そうならないよう、しっかりしたビジョンを早くつくっておかなければ、とてももたないのではないかとこの危機意識を持っています。

坂田 賛成です。協定はもちろん延長されるべきです。けれどもそのためにはまず、日本はこれから原発政策をどうするのか、その後の核燃料サイクル政策をどう



えんどう・てつや/外務省科学審議官、在ウィーン国際機関代表部初代大使、国際原子力機関理事会議長、原子力委員委員長代理などを経て、日本国際問題研究所特別研究員

するのかについて、きちんとした政策体系を作り、それを米国に説明しなければならぬ。米国からの疑問や懸念に応えるべく、日本は原子力政策について、これまではうまくいかなかった点もあるけれども、これからこういう計画で、このように実施していく、だから延長が必要だというロジックを展開しなければならない。

将来の電源構成については今、行われている議論で決まるのかもしれないが、その後は1年間ぐらいかけて核燃料サイクル政策をどうするのかについて、議論して決めていくべきです。この交渉を進める上でも、そうした国内政策をきちんと作り上げるのが重要です。

この背景には、核セキュリティの問題があります。昨年の核セキュリティ・サミットでは、安倍総理がオバマ大統領に対し、日本原子力研究開発機構にある高速炉臨界実験装置(FCA)から、高濃縮ウラン(HEU)と分離プルトニウムを全量撤去し米国へ輸送することを表明しました。日本は核不拡散で問題国ではないけれども、核セキュリティ強化の考えは、日本国内に蓄積しているプルトニウムにも影響を与えます。そのためにも、米国に対しては政策に裏付けられた説明責任がある。

もう1点。30年前の日米原子力協定を交渉していた時には、米国議会にいる核不拡散を提唱する人たちの存在が非常に大きい問題だった。今後の米議会の動向も、よく見極めていかなければなりません。

澤田 遠藤さんからは4つのオプションが提示されましたが、現状の内容で延長するためには、日本政府に原子力に関するビジョンと具体的な政策が必要である。それを米国に、明確に説明する必要と責任がある。とはいえ、今の日本がそんなことを言える状態なのかということ心許ない。それを議論する体制もない。

省庁横断的なタスクフォースが必要

坂田 行政改革の結果、この問題に関する責任主体があいまいになってしまいました。その意味では、原子力行政はマイナスの行革を行ったと言えます。しかし、今の体制で2018年を乗り切ろうと思えば、やはり国内における原子力政策をつくる責任は経産省にある。しかし、彼らは目の前の仕事で大変で、先のことまで考える余裕がないかもしれないけれども、それはやる責任がある。それが一つ目。

一方で米国の今の動向を踏まえた上で、日本として協定に臨む基本姿勢に対する提案ができるのは外務省です。基本的には経済産業省と外務省が中心となって、そこに文科省が加わる形で議論するチームを組む。昔であれば原子力委員会が、それらを調整することになるのだけれども、今の体制で原子力委員会にどれだけ期待できるかという問題がある。ともあれ、この日米原子力協定の問題は、間違いなく日本の原子力を進める上での重要基盤の一つです。このため、例えば、原子力委員会が関係省庁を集めて、意見交換の場を提供するようなことはできる。それは、原子力委員会の実績にもつながる。

遠藤 けれども民間は、この問題を避けています。例えば、電事連や原産協会は、この問題に積極的に関与しようとはしていない。

澤田 それどころではないのではないのでしょうか。福島第一原子力発電所事故後、日本の原子力平和利用の推進を請け負う政策を作るのは経産省になりました。かつては原子力委員会が省庁横断的に、これに関与していたのだけでも、事故後の混乱の中で、主に民主党の意向で押さえ込まれた状況になっていますね。言わば手足がもがれたような状態です。一方で、規制が非常に強い権限を持ちました。その結果、電力会社はとにかく再稼働に必死で、2018年問題にまで頭が回らない。

原子力政策そのものがある意味、真空地帯になっている。そこを何とかするために、ここでは世論喚起することが、重要なポイントだと思います。

坂田 政策を担うプレイヤーには、それぞれが果たすべき役割があると思います。それぞれのプレイヤーが真空状態を埋めるように協力してやっていこうという気にならないとだめだと思います。日米原子力協定の問題は、日本の原子力のアクティビティー全体をカバーするものであり、その基盤がどうなるかというのは重要問題であるという意識を共有し、取り組まなければならない。例えば、プルサーマルについては電力会社自身が立案し、それを経産省が調整して、政策にしていかなければならない。それぞれが、なすべきことをしていかなないと、今の体制だと隙間ができてしまう。

核燃料サイクル計画の明示を

澤田 共有以前にそういう意識がないのでは？この座談会は、そのための一つの世論喚起にできればと思います。では体制を整えるために、どこがそのイニシアチブをとればよいのでしょうか。

坂田 私は、経産省と外務省のしかるべき立場の人たちが、その意識を持って話し合いを始めれば、できると思います。今の役所では、そのことにまで考えが及んでいないので、この問題提起をしなければなりません。日米原子力協定についてこういうリスクがあるということを政治家や産業界に説明し、そこで問題意識を共有し、外務省と経産省が中心になって取り組んでほしい。ところが経産省の人たちと話していると、今は再稼働や福島対応が優先で、そこまで意識が向いていない。しかし、この問題は日本の安全保障に直結する重要な話です。このような話を役所が考えないというのは、一種の脳死状態です。

遠藤 それに対して米国の方は、いろいろと考え始めているわけです。

澤田 よくない方向に向かっている——日本は再稼働問題でもたついている間に、大局的な視点をどんどんと失っていつている。核燃料サイクルが象徴的です。

遠藤 そうなんです。例えば、米国のシンクタンクの中には、日本のプルサーマル利用に条件や制限をつけよ

うとしているところがある。具体的に言うと、協定が自動延長される際に、例えば、六ヶ所の再処理工場ではどれぐらいのプルトニウムを抽出するかについては毎年、日米両政府で話し合うべきだとするような条件をとったサイドレターを交換すべきだというようなことを考えているところがある。

澤田 それはまさに日米その他の反サイクル勢力がつけ込むチャンスを与えるようなものですね。

遠藤 一方、日本の原子力委員会は2003年に、利用目的のないプルトニウムは持たないということを決めました。逆に言うならば、利用目的さえあればよいということです。計画があれば、抽出する時期や使用する時期は問わない。

田中 けれどもさきほどのシンクタンクは、その詳細計画を作れという。

遠藤 そして、その時期を決定しろと言う。一方、英国には日本が再処理を委託したプルトニウムがある。日本がお金を払えば、それを英国がそのまま引き取るというアイデアもある。そんなアイデアが出てくるのも、日本にはきちんとした政策がないからです。余剰プルトニウムを持たないという抽象論のままではいけない。

田中 これに日本の反原発運動が絡むと、協定の自動延長が頓挫する可能性がある。そのためにもプルトニウムをどうやって使うのかを明確に示す必要がある。一方で、今の六ヶ所での再処理や「もんじゅ」というような方法を補完するような方式として、例えば、IFR(統合型高速炉: Integral Fast Reactor)があります。金属燃料を軸にした米国の技術ですが、安全性に優れるとともに廃棄物の処理も楽になる。核不拡散性が高い技術であり、その実証試験をやっていくというような方針もありうる。今の国内外の情勢を考えると、今のままで大丈夫ですという説明は、通らないのではないかと思います。

他方で、韓国との共同研究もありえます。韓国はIFRと乾式再処理(パイロプロセッシング)でいこうとしています。だったら日米韓共同で、核不拡散性が高く廃棄物処理も安全で楽な方式を技術開発し、これを福島で実験することを僕は提案しています。そんな計画なら、米国も反対しにくい。

澤田 統合型を言うならば、日本にも自己整合性のある原子力システム(SCNES)という構想があります。一方、「もんじゅ」については。

田中 「もんじゅ」は実験炉として、金属燃料の燃やし方の実験には使えらると思っています。私は米韓を巻き込んで新しい



たなか・のぶお/国際エネルギー機関事務局長、日本エネルギー経済研究所特別顧問などを経て、笹川平和財団理事長

技術の共同研究をやるのが、今までの核燃料サイクルを補完する一番いい方法だと思っています。これまでと同様で行こうとしても、もう無理です。何か違うことを示して、先に進めるとするのが私の持論で、2018年問題というのは、まさにその結晶みたいな一種だと思っています。

坂田 IFRを将来の原子力技術として追求していくということについては、異論はありません。ただし、例えば使用済み燃料にしても既に何万トンも出ているわけですから、IFRの技術が実用化できる時期が一体いつになるのかはわからないので、それは不確定要因として、現実に対処することも考えておく必要があります。

話しが戻りますが、やはりプルトニウムの蓄積はよくない。だからプルトニウムを燃やすだけで核不拡散性は高まりますから、MOXや「もんじゅ」、「常陽」をできるだけ早く運転再開して、プルトニウムを燃やすようにしなければならない。六ヶ所の再処理工場から出てくるプルトニウムの一定量を、きちんと国内で燃やせる体制をつくらなければいけない。仮にIFRをするにしても、それが本格化するまでの間はそれに対応しなければならない。ともあれ、日本の原子力政策、核燃料サイクル政策、そして既にある既存炉をどうするのかというビジョンをきちんと描かなければならない。

澤田 まさに仰る通りです。

坂田 それから、先ほど核セキュリティの話ができました。それに関連した話ですが、私が前の日米原子力協定交渉の仕事をしてワシントンの大使館から帰って1年後に科技厅の核燃料課長として原子力委員会の事務局もしていたのですが、その時に初めて、日本のプルトニウム需給バランスを数字として公表しました。当時は画期的なことでした。それを公表した後に、プルトニウムが六ヶ所工場からたくさん生産されても、それがすぐに使えない状態であつたらまずいので、その時には調整運転すべきではないかという議論がありました。これに対して、当時の日本原燃サービスの幹部からは、そんなことをしたら商売にならないと反論がなされたことがありました。けれども核セキュリティの観点からすれば、例

えば英国で再処理してできたプルトニウムは英国に買ってもらえよという意見があるくらいなら、やはり六ヶ所の運転形態も日本国内に、余剰プルトニウムがあまりたまらないように調整はしていかなければならないと思います。

田中 スピードを落とすという意味ですね。

坂田 そうです。

田中 燃やせる程度しか再処理しない。

遠藤 もう一つの問題は、2018年までにあと3年しかないということ。必要なことから始めなければならない。

澤田 具体的には。

遠藤 まず、プルサーマルを動かします。幸いなことに、再稼働をめざしている伊方3号はプルサーマル方式です。ともかく、2003年時点で持っていたプルトニウムを越える量のものを持たない。

澤田 六ヶ所再処理工場が動いているかどうかということは、2018年問題に対して影響はないのでしょうか。

遠藤 それはあります。

田中 動かせばプルトニウムは出てくる。

坂田 今の原子力協定をつくった時の眼目は、日本でプルトニウムの平和利用を広範囲にやるためです。けれども、その中で重要だったのが六ヶ所再処理工場とプルトニウム輸送です。なぜなら六ヶ所は米国から見て、きちんとしたセーフガードがかかるかどうかを一番気にしていた。800トン規模の生産量だと、核物質不明量(MUF)は200~300キロになるかもしれない。これらにきちんとしたセーフガードがかかるかどうかというのは米国の大きな関心事です。また、プルトニウム輸送は、米国の議会で最も厳しい政治的問題で、この二つの問題が米国にとってのポイントでした。結果として一定の条件下で六ヶ所での再処理もプルトニウム輸送も、包括同意方式で認めてくれた。

当時の予想では、六ヶ所再処理工場は2000年過ぎには運転していると思われていた。米国もそう思っていたから包括同意に入れてくれた。ところが、2018年になってもまだ動いていないということになると、日本は果たして本気でこれをする気があるのか、なければ個別同意に落としてしまえ、というような話が出てこないとも限らない。

澤田 その時に、さきほどふれましたが、米国の反対勢力のシンクタンクのようなところが、向こう側で火つけ役のようなことをするかもしれないし、日本側でもそれに呼応した動きもあるかもしれない。もう一つ重要な問題は、今、原子力政策を仕切る本丸がないままに、規制が非常に強い権限を持っている中で、六ヶ所の再処理をきちんと審査して、この問題をクリアしなければならないということ。また、パグウォッシュ会議が今年、日本で開かれる。そこでは六ヶ所再処理の問題が俎上にのぼる可能性もある。

話を戻しますが、この問題が重要であるという共通認識は、関係者には薄い。これを政策として受けとめる本丸的なものがない、「もんじゅ」の問題も六ヶ所の問題もうまく乗り切れないと、変に利用される可能性があると思います。そこで核燃料サイクルに関しては、本道の大筋を進めるとともに、その先に統合型だか整合型だかの



さかた・とういち/文部科学省事務次官、駐ウクライナ特命全権大使などを経て、日本原子力研究開発機構特別顧問、日本宇宙フォーラム理事長

高速炉という選択肢もあると。

田中 いろいろなオプションを持っておいた方がいい。今は、原子力をできるだけ少なくしたいという風潮がありますが、そうではなくて軽水炉をできるだけ少なくしたいと読みかえるべきです。高速炉が何らかの形で存在しないと、原子力というものは完結しないということは、専門家にはわかっている。けれども世の中では、all or nothing の議論になっていて、将来のことを示し損なっている。そのためにも、いろいろな選択肢を持っている必要があると思います。IFR だけが本当の答えだとは断言しませんが、やってみる価値はあると思います。

澤田 専門家も一部を除いて、高速炉などの将来構想には今は腰が引けまくっている。もしくは、廃炉研究開発の方しか見えてない。

注目される米国の新政権の動向

澤田 さて、2018年問題については、予備交渉みたいなものはあるのでしょうか。

遠藤 何もなければ、2018年7月に自動延長でしょう。けれども米国が、自動延長の際に「しかし」と言い始めたら。

田中 混乱が始まります。2018年7月以前に、向こうから何かを言うてくる可能性はあります。ただし、こちらから変に聞けば、やぶ蛇になります。そこでは米国の新政権がどういう性格を持つかということが、重要な要因となります。共和党ではなく民主党が勝った場合、ヒラリー・クリントン政権はどのような原子力政策を打ち出してくるかは、注目すべき事例になります。

遠藤 新政権ではどういう人間が、担当ポストにつくか。この問題は米国にとっては大きな政策ではないので、この問題とは別の重要なポストから順番に決まっていき、担当ポストの人間が決まるのは2017年の夏ぐらいだと思っています。そのころに、日本に対して何か動きがあるかもしれない。

澤田 2017年の夏ということならば、今年度中ぐらいに日本では受け皿、体制を整えておかなければならない。

坂田 そこで、これからの日本のプルトニウム利用はこうすると説明できる状態になっていなければならない。

澤田 そのためにどうすればいいのでしょうか。省庁間で横の連携を取って体制を整えるにしても、政治的に何かきっかけが与えられないと動かないですよ。

田中 担当者が問題意識をきちんと持っていれば、それはできる。ただ、今はまだ、担当者がその問題意識を十分に持っていないのではないのでしょうか。遠藤さんが指摘された分析や懸念が、外務省に届いているとは思いません。

澤田 そのための具体的な戦略がないと。

坂田 1980年代前半に外務省の科学技術審議官だった宇川秀幸氏は、前回の協定交渉の準備として、この問題を検討するために定期的に3省庁の課長級の役人を集めてミーティングしていました。そんな方法もあります。今だと、外務省の軍縮不拡散・科学部長が、その任になるのでしょうか。あるいは原子力委員会が、外務省、経産省、文科省、更に規制庁などの関係省庁の課長クラスに声をかけて、会合を開くという方法もあります。ともかく、何かのきっかけを作る人が必要です。

澤田 原子力委員会はプレゼンスを示す良い機会ですね。

遠藤 一方で、韓国と連携するという話は、あまり楽観的に考えない方がいいと思います。

坂田 韓国は、とにかく再処理をやりたいと思っている。しかし米国の政策は安全保障の観点から朝鮮半島にプルトニウムと濃縮ウランは置かないというのが基本で、明確です。その政策は、今でも変わっていない。今回の米韓協定でも包括同意の仕組みは全く導入されていないし、米国は抑えるところはきちんと抑えています。だから韓国は、そんなに簡単に再処理に踏み出すことはできないと思う。

遠藤 韓国は、米国ではかなり、ロビー活動に力を入れています。

坂田 一方で、米国が今の協定で日本に包括同意を与えた理由の一つは、日本は信頼できる同盟国であること。二つ目は、日本には核拡散の危険性がない進んだ原子力計画があるということ。日米の同盟関係は、この前の安倍総理の訪米で、より強力になっています。ただ、世界的に核セキュリティ問題が非常に大きくなっていることはある。そのことに影響をうけて、何か議会で動きがあるかもしれない。けれども全体的に見た場合には、30年間の日米原子力協力の積み重ねがあり、米国から見て日本が不信を招くような行動を全くしていないので、今の協定を修正する理由には基本的にはないと考えられます。

遠藤 ただし、韓国には日本の動きを封じようとしているものもある。

田中 だから僕は、逆に韓国を取り込んだ方がいいのではないかと考えています。韓国と日本、そして米国が持っている技術で、核不拡散にあうような新しいモデルを開発していく。さらに核不拡散性が高いモデルができれば、それを他の国々



さわだ・てつお/独カールスルーエ研究所客員研究員を経て、東京工業大学エネルギー工学部門助教

にも展開していく。その方が、米国に対しても説得力がある。

澤田 研究協力の一つのベースになると思います。そういう意味では、これはむしろ學術の出番でしょう。例えば原子力学会も韓国と交流しており、それをベースにして、例えば IFR や金属燃料などの研究交流をやっていくことはできる——昔は結構やっていましたが、今はリーダーがない。

高レベル廃棄物処分を、地球規模で考える

田中 一方で、高レベル放射性廃棄物の処分地が、なかなか見つからない問題は大きい。けれども IFR のパイロプロセスの技術を使うと、従来の方式より放射性廃棄物の半減期が大幅に短くなる利点がある。また、廃炉とあわせて福島に置くというオプションもありうる。パイロプロセスはデブリ処理にも向いていると聞く。要するに硝酸で溶かすよりは、廃棄物を処理しやすい。米国は、パイロプロセスを廃棄物処理技術として考えている。なお、IFR のデブリは福島県外に持ち出すのはなかなか難しい問題だと思う。そうすると、あの場所で処理するしかないかもしれない。そのデブリを、この技術で処理することもあり得る。より扱いやすいものにまずは処理するイメージです。処分はさておきですよ。それがほかの使用済み燃料処理の一つのモデルになるかもしれないと思います。そうすると全体が完結する。

坂田 高レベル放射性廃棄物の処分については、かつてはどこかに国際処分場をつくるという考えもあったけれども、今は発生させた国の責任で処分することになっている。それが基本ですが、この問題は長いオーダーの話であり、新興国を中心に原発を導入する国がこれからも増えていくことを考えると、IAEA などでも国際的に広く知恵を集めて、地球規模でどうしたらいいかという議論をやるべきだと思います。どこかの国が発議して、20年、30年かけて、そういう処分場も作ったらいいのではないかと考えています。

澤田 なぜそうになってないのか、逆に不思議なぐらいです。今のところは、自国の問題として解決しなさいということになっている。

坂田 それはそれでいいのだけれども、それだけで解決できる保証がない。原子力の事故が起こったら助け合うのと同じで、処分問題も同様に国際的に知恵を集めて取り組むことが必要だと思う。

田中 途上国もこれから原子力を利用していく中で、そういうものは必要ですね。日米韓の協力する中には、そういうことも入るのではないのでしょうか。

遠藤 さて、核セキュリティ・サミットが来年、米国で開催されます。また、米国の NGO である Nuclear

Threat Initiative (NTI) が、核セキュリティのレベルについて日本などを評価を下しています。ところが、そこでの採点が、日本は悪い。核セキュリティの水準が低いという。

坂田 危ないということですか。

遠藤 NTI は、いろいろな要素を取り上げて点数をつけていきます。最近では規制と推進が分離したことや、二つあった規制が一つになったことを評価している。逆に保有プルトニウムが圧倒的に多いことは、プルトニウムを盗まれる可能性が高くなるということになる。もう一つは、福島原発事故ではしなくも露呈したけれども、インサイダーチェックが非常に甘い点が、悪く評価されている。要するに、日本はもっと、セキュリティ問題に関心を払うべきではないかということです。けれども、これもまた司令塔の問題がある。

この問題は、本来は規制委員会が担当することになっているのですが、規制委は司令塔とはほど遠い。整理係でしかない。これについては警察を含めた各省庁が、それぞれ自分の権限を持っている。設計図が、北朝鮮に流れる可能性だってあり得る。だから核拡散とあわせて、セキュリティに対する関心や措置を、もっと強化していくべきではないか。けれども、セキュリティについてはあまり関心が持たれていない。

澤田 原子力機構には核不拡散・核セキュリティ総合支援センターというものがありますが。

坂田 あそこは途上国の人たちに対して、核セキュリティや核物質防護などをテーマに技術訓練や教育をする機関です。

澤田 そうすると、核セキュリティに対するビジョンを作るのはやはり外務省ですか。

遠藤 役割分担上は規制委員会ですよ。ところが、規制委員会は、整理係程度しか権能していない。

澤田 警察力が入ってこないと実効性がない。だから、規制委員会がやるとしても、限界がある。日本は銃社会ではないので、逆に危機意識が乏しい。では、きちんとさせるために何が欠けているのでしょうか。制度でしょうか。

坂田 核セキュリティは国際安全保障の観点からのチェックも必要なので外務省の関与も必要だと思います。一方、具体的な措置をどうするかについては、規制委員会に、核セキュリティや核物質防護を担当する警察の部署の責任者に来てもらって、事実上いつでも、警察と協力できるように、考え方や取り組み方を整理することも必要かもしれません。

原子力全体を仕切る司令塔がない

澤田 小括します。一つには、世論喚起が重要であるということ。そこでの世論とは、まず実質的な省庁の世

論ですね。それと政治がきちんと意識を持っていなければなりません。

坂田 そして、核燃料サイクルをどうするか。今日のテーマは日米原子力協定の2018年問題でしたが、その中心になるのは核燃料サイクルで、それに関連して核不拡散や核セキュリティ、高レベル放射性廃棄物処理の問題が付随している。それらの大前提には、国民による原子力の支持という問題がある。それがなければ、これらはうまくいかない。福島原発事故が起こった今、原子力を始めて50年以上たつ日本の原子力にとっては、今が一番困難な時期です。だから原子力そのものについて、国民的な支持をもう一回取り戻す努力を最大限やるというのが大前提になります。

澤田 その通りだと思います。けれども、必要だと言うだけでは、皆さんなかなか納得してくれない。地球温暖化対応やエネルギー安全保障だと言っても、説得力がない。

坂田 3E「供給安定性/energy security」「経済性/Economic growth」「環境保全/Environmental conservation」+ S(安全性/Safety)の3Eではなぜ説得力に欠けるかと言うと、福島原発事故が起こって、Sがこんなに重大なことだとわかったから、もうSを考えたら3Eなんて、相対的に小さな利点でしかなくなってしまった。そこが、最大の問題です。従って、Sに対する信頼度を上げるための措置と実践に目に見える形で最善を尽くす必要がある。

田中 一方のSには、さらにサステナビリティがある。安全と廃棄物処理、そして核不拡散については、原子力のこんな技術で解決できるというふうに説明しないと、支持は戻ってこない。

澤田 福島原発事故は取り返しのつかないような事故でしたが、逆にこれによって、原子力やエネルギー問題については、幅広く国民が関心を持つようになってきているというのも事実です。だから今は、いろいろなメッセージを発するチャンスでもありますが、そこがうまく情報発信できていない。

今回、この問題を取り上げた一つの大きな理由は、日本が原子力のオプションをフルセットで持つことは、重要な意味を持ちます。ところが、核燃料サイクルの要である「もんじゅ」と六ヶ所が滞っており、フルセットで持っていることのメリットへの自覚が極めて薄れている

と思います。今回の企画が、関心喚起のきっかけになればと願います。

坂田 原子力学会には科学的、技術的に専門性が高いというイメージがあります。けれども原子力には外交的な側面もあるし、社会的、政治的要素も含まれます。今回、この日米原子力協定の問題を取り上げたのをきっかけに、学会は科学、技術の面だけじゃなくて、原子力の持っている社会性、国際性、政治性にも広く関心と関与をしていただくこと。さらにはそれらがきちんと整っていることが、原子力が社会に受け入れてもらえる前提となることを専門家は十分に意識し、それをメッセージとして外に発信してほしいと思います。

澤田 学会の中だと、それは社会環境部会のようなところが、指摘されたようなことを包括的に請け負うべきだと思うのですが、そうはなっていない。部会とは別に、学会長のイニシアチブで、やれるはずだと思います。問題意識があるかどうかは問われますね。

坂田 私は遠藤さんの下で日米協定の交渉に参加し、その後はフォローアップとしてプルトニウム輸送問題の実務をやりましたが、これらの問題は平和利用とはいえ、すべて核兵器に絡んでいると、国際社会では見られています。日本が本気でプルトニウム平和利用をしようと言うならば、外国が懸念する核拡散について、このような理由から日本は核兵器を持つことはないということ、原子力の平和利用をやっている人たちがきちんと説明できる能力を持たなければならない。

遠藤 私が東工大に頼まれている講義内容は、まさにそれです。

さて話が戻りますが、30年前に日米原子力協定の交渉をした時には、役所だけではなくて、オールジャパンの支援があった。経済界もいっしょになって研究会を立ち上げ、議論していました。けれども今は、そのような機運が感じられない。

坂田 原子力学会がリーダーシップをとればいいのではないですか。経済界への働きかけも重要です。

遠藤 この問題については関係者が関心を持って、ぜひ議論してほしいと思います。

澤田 日本原子力学会が対処すべき問題であるということですね。本日はありがとうございました。

(2015年5月27日実施、編集協力 佐田 務)

意思決定プロセスとしてのリスクコミュニケーション —原子力の未来に向けて I. はじめに

筑波大学 古川 宏

2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故により、人工物の安全性に対する考え方が根底から覆された。ゼロリスクを信じていた者は、それが誤りであったと気づくことになった。騙されたと思う人も少なくなかった。

「リスクがゼロである」と思い込んだとき、複雑な状況は簡略化され、意思決定は安易となる。そして、小さくてもリスクがあること、そのリスクを受け入れたことを自覚することはない。そこに、意思決定における難しさの一つとして、リスクを理解・実感し、有効に用いることの困難さがある。

2014年8月に、ヒューマン・マシン・システム研究部会主催にて、本記事の題目を冠した夏期セミナーを開催した。ステークホルダーである企業、市民、専門家の方々から、その経験や蓄積された知見に基づいた講演をいただき、原子力分野におけるリスクコミュニケーション(以下では“リスクミ”と略)の現状と取り組むべき課題について理解を深めることができた。

本シリーズ解説では、セミナー講演者の方々を著者に迎え、5つの異なる視点から、原子力分野におけるリスクミについて紹介する。

最初に、リスクミの研究者からとして、リスク政策も専門とされる西澤真理子氏(リテラジャパン)より、リスクミについて、そして氏から見た原子力分野におけるリスクミの課題を紹介いただく。

次に、“リスクコミュニケーションの現場から”として、主要なステークホルダーである地元住民および電力会社の方から、原子力分野におけるリスクミの現状と課題などについて説明をいただく。

東京電力ソーシャル・コミュニケーション室の山本高士氏、白井智規氏からは、東京電力におけるリスクミ活動について紹介をいただく。東京電力では、3.11の後、原子力に関するリスクを社会との対話活動を通じて共有する姿勢へと転換することを方針とし、活動の充実に取り組まれている。

地元住民からの視点として、NPO法人HSEリスク・シーキューブの土屋智子氏、服部成雄氏から、東海村におけるリスクミ活動について紹介いただく。公募で集まった住民が、臨界事故の経験を踏まえた議論と活動を行うことで、原子力事業者と地域住民間に密なコミュニケーションが形成され始めている。

次に、リスクミにおける意思決定プロセスに注目し、

定量的リスク評価が実問題での合意形成に役立ち得るか、確率論的リスク評価を専門とされる村松健氏(東京都市大学)からご意見を紹介いただく。

最後に、原子力分野の多様な状況に詳しい内山洋司氏(筑波大学名誉教授)から、エネルギーシステムにおけるリスクの現状と、日本におけるリスクミの課題の紹介、達成すべき目標についてご提言をいただく。

夏期セミナーの全体討論では、「影響を危惧し、リスクに関する詳細な情報を国民・住民に積極的に説明することをしてこなかった。」「しかし、現在の国民・住民における不信感を改善するためには、“今”明確に伝えることが必要である。」「このタイミングを逃せば、国民・住民による自発的・活発な議論は望めなくなる。」との意見が出された。“各選択肢のリスクを理解した上で、未来について議論する”という意思決定プロセスが定着すること、その期待を皆で共有した。

3.11から4年経った今、関心が低くなりつつあるように感じる。また、特定のリスクのみに過剰に反応し、ゼロリスクを求めるような議論も未だ見受けられる。

去る4月14日に、福井地裁は関西電力高浜原子力発電所3,4号機の運転差し止めを命じた。判決では、新規制基準の合理性を「設備が基準に適合すれば深刻な災害を引き起こすおそれが万が一にもないといえる」とし、これが欠けていることを判決理由の一つとしている。これは、再稼働の条件はゼロリスクであるとの判断に見える。少なくとも、する／しないという両選択肢にリスクとベネフィットがあるという視点や、リスクに基づく意思決定という考え方は見受けられない。利害が複雑に絡む案件に対して合理的判断が求められる裁判所においてさえ、リスクに関する基本的な理解が欠けていることに衝撃を受けた。

専門家や技術者には、市民が適切に“未来の選択”を行えるよう、市民の声に真摯に耳を傾けつつ、適切な情報を積極的に発信することが求められる。原子力分野でのリスクミについて、状況の複雑さや課題の多様さと重大さを理解していただくことにより、適切な“未来の選択”に向けて成すべきことを考える切っ掛けに、本解説がなれば幸いである。

(2015年5月29日記)

解説シリーズ

意思決定プロセスとしてのリスクコミュニケーション－原子力の未来に向けて

第1回 科学者自らが語ることの意義

リテラジャパン代表 西澤 真理子

福島第一原発の事故直後に起きた混乱が示すのは、日本にリスクコミュニケーションが欠如していたという事実である。政府として平時から態勢を整えておかなかった弊害が表れた。他方、「安全」という言葉を安易に使う世間の風潮を科学者が黙認してきたツケが回ってきた面もある。日本では今、行政・企業・メディア・市民などすべてのステークホルダーが議論をする「場」が必要とされている。そのためには科学者自らが語る覚悟をもたなければならない。

KEYWORDS: *Risk communication, risk analysis, nuclear energy policy, public acceptance, consensus conference*

ドイツやスイスのリスクコミュニケーション(RC)の学会に出席する時、そこで「日本では原発再稼働の議論をしています」と言えるかどうか、ふと考えることがある。筆者にはとても言えそうにない。一つには、ドイツやスイスは脱原発の機運が強く、そのための会議や集会が頻繁に開かれているからである。エネルギーシナリオを考えるにしても、脱原発の前提があった上で議論されている。

もう一つには、日本が2011年3月の福島第一原発の事故をいまだに引きずっているからである。汚染水や放射性廃棄物、溶け落ちた燃料をどう処理するのか、今なお混迷した議論がなされている。事故原因の究明に関しても、専門家の間ではある程度のコンセンサスは取れているものの、市民の間で共有されるには至っていない。国内で原発再稼働に向けた議論が整理されていない現状では、なおさら海外にはほとんど何も伝わらないだろう。「福島の事故が片付いていないのに、なぜ再稼働するのか」。海外の学会参加者からはそのように言われてしまうと思う。

日本は今、成長戦略の一環として、ベトナムをはじめとする途上国に、原発を輸出しようとしている。その際、福島第一原発の事故から得た教訓も含め、ソフト面

Risk communication for stakeholders making decisions about the energy future with atomic power (1) : Why scientists should get involved : Mariko Nishizawa

(2015年5月30日 受理)

の充実を図らなければ、将来、日本は国際的に責任を問われることになるだろう。今後、科学の立場から原発のリスクを説明することが求められる。

そこで、本稿ではまずRCの理論的な基盤とよくある誤解を紹介した上で、福島第一原発の事故をめぐるRCの失敗とその教訓を考察し、そこから科学者自らがRCを実践する意義と留意点を示すことにしたい。

I. RCの理論的な基盤とよくある誤解

「リスクコミュニケーション」という言葉はソフトな印象を与えがちだ。とりわけ日本では誰にでもできるかのように思われているところがある。実際、多くの企業が「うちはリスクコミュニケーションをしている」と主張する。しかし、RCという概念自体にしっかりとした理論的な基盤があることはあまりよく知られていない。まずはここに誤解がある。

1. RCの理論的確立

RCは1980年代に米国で確立した概念である。National Research Councilの報告書によれば、RCは「リスクアナリシス」を構成する一つの要素として位置づけられる。ここでいう「リスクアナリシス」とは、まず科学的な見地から「リスク評価」を下し、それに基づいた「リスク判断」あるいは「リスク管理」をした上で、それらを消費者や一般市民に伝える「リスクコミュニケーション」をする、という一連の取り組みを指すが、RCはこの最

後の段階に当たる。つまり、RCは「リスク評価」とそれに基づく「リスク判断」あるいは「リスク管理」を伝える段階として定義されている。

もちろん米国においても最初からこうした考え方があったわけではない。米国でも1980年代以前はRCが軽視されていた。専門家が科学的なリスク評価を下し、それに基づいて行政や企業がリスク管理・リスク政策をすれば十分であると考えられていたのである。しかし、1979年のスリーマイル島原子力発電所事故などを経て、市民が科学技術に懐疑の目を向けるようになったことを受けて、「せつかく適正にリスク評価とリスク管理・政策をしていても、きちんと市民に伝わらなければ意味がない」という認識が技術者の側で共有されるようになった。RCがリスクアナリシスの一角を占めるという考え方に転換されたのはそれからである。この考え方はその後、1980～1990年代にかけてヨーロッパに広まり、日本においては2003年に食品安全基本法が成立した際に、まず食品分野で導入された。

2. 国内での初歩的な誤解

日本ではリスクアナリシスの考え方が導入されてから10年ほどしか経っていないため、いまだにリスクに関する初歩的な誤解が広く見られる。

(1) リスクとハザードの混同

一つは「リスク」と「ハザード」の混同である。日本語ではどちらも「危険」と訳されがちだが、この2つは全く異なる概念である。しかし、一般市民からすれば、「リスクがある」と言われれば、「危険である」という意味になってしまう。行政や企業が市民に対してリスクを説明するのが困難であるのはこのためである。科学的な見地からいえば、リスクは「危険の度合い」であり、ハザードは「危害因子」である。ごく大まかな図式で示すならば、「リスク＝ハザード×頻度」と考えることができる。リスクはあくまで定量的なもので、ハザードは定性的なものである。科学者の立場からすれば当たり前の話かもしれないが、日本で一般的に「危険」が問題になる場合、この2つの概念が混在した状態で捉えられていることが多い。

筆者がRCの実践でリスクとハザードの違いを説明する時にはいつも「お酒」の例を使うことにしている。国際がん研究機関(IARC)のハザードマップによれば、アルコール飲料はヒトへの発がん性が認められる「グループ1」に入っている。お酒は明らかに発がんのハザードである。しかし、一般の消費者からすると、お酒が発がんのハザードであるということは意外に感じるようだ。お酒が発がんのハザードであるならば、なぜごく普通にスーパーで売られているのかと当然疑問に思う。お酒が発がん因子ならば、販売を禁止すべきではないのかと考えるのも無理はない。この点こそがまさにリスクとハザードの違いに関わっている。お酒が発がんのハザードをもっ

ているとしても、実際にはがんになるかどうかは飲む量によって変わってくる。確かに男性のがんの要因の1割は飲酒であると言われているが、その人が飲む量によって実際にはがんになる確率は変わるはずである。量を加味した危険の度合いこそがリスクである。「飲酒のリスクを考える」というのは、端的に言えば「お酒を飲むならば量を考えろ」ということに他ならない。

RCを実践するにあたっては、リスクとハザードの違いを最初に説明しておかないと、後々大きなすれ違いを生んでしまう。筆者が講演するとしても、その点に誤解があるとほとんど何も伝わらなくなる。まずリスクとハザードの違いを伝えることが、RCを成立させる上で重要である。

(2) RCの目的に関わる誤解

もう一つの顕著な誤解は、RCの目的に関わるものである。これは一般市民の側の誤解ではなく、RCを実践する側、つまり行政や企業、科学者の側の誤解である。現在でも多くの場合、RCは「安全情報の伝達」と混同されがちである。安全情報の伝達だけならば、日本の行政や企業でも得意とするところは多い。従来の広報活動とほとんど変わらないからである。しかし、安全情報の伝達はRCの第一歩にすぎない。パンフレットを配布したり、ビデオを放映したりして情報伝達をすることは重要ではあるものの、RCはそうした一方向的な情報伝達の先を目指さなければならない。具体的には、地域住民、NGO、NPO、一般の消費者、メディアなどさまざまな利害関係者と意見交換をして、互いに問題を共有し責務を分担できなければ、それはRCではない。その点でRCは手間と時間のかかる厄介な取り組みといえる。そうした取り組みをするのだという覚悟が、本当に行政や企業、科学者の側にあるのかを今一度自問すべきである。

II. 福島第一原発の事故の教訓

1. 事故直後の政府対応の問題

2011年3月に起きた福島第一原発の事故の直後を振り返ると、緊急時のクライシスコミュニケーション(CC)と平時のRCの両方ともがうまく機能しなかったといえる。どちらについても政府に明確なプランがなく、おのおのの専門家がばらばらに活動をしてしまった。その結果、政府の説明と矛盾することが言われたり、専門家ごとに異なる見解が述べられたりして、市民はさんざん振り回された。市民の側で専門家に対する不信感が生まれたのもここに一つの要因がある。平時から政府が緊急時のプランを用意していなかったため、政府や事業者、専門家が統率のとれた見解を出すことができなかった。これが当時CCとRCがきちんと機能しなかったことの原因である。

これについては、文部科学省の「平成24年版科学技術白書」に、英国のように政府が統一的に見解を出す仕組

みを日本にも導入すべきではないかということが書かれた。実際、英国では事故直後に政府の首席科学顧問であるジョン・ベディントン氏が統一した見解を出し、日本国内にいた自国民がパニックを起こすのを未然に防いでいた。さらにベディントン氏は後に自ら来日し、在日英国大使館で自国の市民向けに説明会を開いた。筆者の知人の英国人もそこに参加したのだが、「非常によく分かった」と評価していた。このように英国ではいろいろな人がばらばらなことを発言するのではなくて、政府が統一した見解を打ち出す。これが日本政府の対応と根本的に異なっていた点である。

ただその一方で、ドイツとフランスに関しては混乱も見られた。ドイツの場合、在日ドイツ大使館から「西に避難しろ。東京にいてはいけない」という内容のメールが一斉送信された。しかも大使の署名入りである。そんなメールを見たら、普通のドイツ人ならば避難するだろう。実際、ルフトハンザやエールフランスは特別便を出していた。ドイツやフランスの政府がパニックを招いた一方で、英国だけが冷静にCCやRCを行えたのは、やはり上でも述べたとおり、首席科学顧問の設置など、緊急時に対応できるシステムがもともと整備されていたからである。

日本政府によるRCの失敗は、確実に被災地にしわ寄せがいく。筆者が福島県でRCの取り組みをした時には、住民の方々の失望や怒りに触れることが多々あった。東京から大勢の専門家が講演会に来るのだが、講演が終わるとすぐに東京に戻ってしまうからだ。「先生たちも俺たちと一緒に自分の家族を連れてここに住んでからものを言ってほしい」と何度も言われた。これは大変重い言葉だと思う。

2. 専門家の説明手法の問題

事故直後の混乱の要因は、政府のRC態勢の不十分さだけにあったわけではない。被災地で講演会を開いた専門家たちの側にも改善すべき点があった。そもそも講演会に来る市民は、大学の公開講座に来るようなモチベーションで来ているわけではない。彼らが知りたいのは、放射線科学の基礎知識ではなくて、今現実に使っている水は飲んでもいいのか、野菜は食べてもいいのか、子どもは将来がんにならないのか、といった日常生活と密接に結びついた問いに対する答えである。専門家はどうしても放射線科学の基礎から正確に話そうとするが、話し手と聞き手のこのギャップを放置したまま講演をしても、ほとんど意味がない。

例えば、放射線の単位の話からして、一般市民にとっては複雑きわまりない。ベクレル、シーベルト、グレイの3つが出てきて、さらにシーベルトにはマイクロシーベルトとミリシーベルトの場合がある。「これを機に放射線科学の基礎を身につけよう」という奇妙な動機がな

いかぎり、講演会でいきなり単位の話を読んでも市民はその時点についていけなくなる。

誤解がないよう正確に話したいという専門家の気持ちはよく分かるが、そもそも専門家と市民の間に、知識の大きなギャップがあることを自覚すべきである。特に原子力の分野では、日常的に見たり触ったりするものと結びつけられないため、専門家が思っている以上に知識のギャップは大きいと考えた方がいい。

専門家が一般市民に講演する時には、ある程度不正確になってしまうことを覚悟した上で、イメージ・直感・感情・感覚に訴える伝え方を取り入れるようにすべきである。放射線科学の教養を身に付けてもらうのが目的ではないのだから、ロジックや数値による理解は必ずしも必要とはされない。むしろ的確なイメージをもってもらうことを心がけるのが重要である。市民が的確なイメージをもとに日常生活を安心して送れるようになってはじめて、その講演は「成功した」といえるだろう。講演をする専門家の側は、自分たちが相手に合った説明手法を採っているか、不断にレビューをしなければならない。

もう一つ、原子力分野の専門家にとって悩ましいのは、放射線科学の話がどうしても脱原発の話とセットになってしまう点である。原発政策の専門家ではないにもかかわらず、放射線科学の説明をした途端、原発推進か脱原発かという議論も抱え込んでしまう。本来は放射線物質の影響と原発再稼働の是非は切り分けて論じるべきなのだが、日本の現状においては専門家も脱原発の話を見て通ることはできない。専門家にはその点の覚悟も必要とされる。

III. 科学者が語る意義と留意点

1. 「安全」という言葉のツケ

大手書店の書棚を見ると、「危険」をおおる本や雑誌が平積みされている。RCをまじめに扱う本はほとんど見かけないし、ほとんど売れることはない。それが今の日本の現状である。科学に対する世間の不信感が如実に表れている。それはなにも福島第一原発の事故とその対応だけに要因があるわけではない。科学者の側が市民に長年RCを怠ってきたツケが回ってきたともいえる。

とりわけまずかったのが「安全」という言葉を安易に使すぎた点である。原子力分野を含め、科学ではどの分野においても「絶対安全」と言うことは原理的にできない。それにもかかわらず、市民に説明するにあたっては、「絶対安全」という言葉は使われてきたし、科学者の側もそれを黙認してきた。もし仮に「絶対安全」であるならば、リスクはゼロでないとおかしい。これまで市民に「絶対安全」と説明してきたのに、何か事故が起きた途端に突然「そもそもリスクがある」と言うと、市民に「だまされた」と言われても仕方がない。「絶対安全」という言葉を使ってしまった時点で、RCの道を自ら閉ざしてし

まったのである。このことの責任はよく考えるべきである。

「安全」という言葉を安易に使う背景には、「パブリック・アクセプタンス(Public Acceptance: PA)」の発想が垣間見える。これは「市民に科学を受容してもらおう」という発想である。理解はしなくてもいいから受け入れてくれさえすればいいという、言葉自体に「上から目線」の思考が含まれている。日本の原発政策もこの発想が根底にあったように思われる。まずはこの発想から脱却しなければならない。RCが目指すのは、行政・企業・科学者・メディア・市民をはじめすべてのステークホルダーが対等な関係でコミュニケーションを図ることである。この認識の転換は今後科学者一人ひとりが自覚する必要がある。

2. 科学者自らが語ることの意義

近年では科学者が一般向けに説明をする場合、サイエンスコミュニケーターやサイエンスインタープリターが仲介することがよくある。もちろんこれは科学者と市民の間のギャップを埋める方法として非常に有効である。しかしその一方で、科学者自らが拙くてもよいから自分の言葉で市民に語るという契機自体も重要である。話し手と聞き手の知識のギャップをはじめさまざまな問題があるものの、話し手の自信や情熱はそうした問題とは別に、確実に聞き手に伝わるからである。それは実際に研究に携わっている科学者だからこそできることである。自分は口下手だからといって、すべてサイエンスコミュニケーターやサイエンスインタープリターに任せるのは決して好ましくない。たとえ講演内容そのものが全く伝わらなかったとしても、「この先生は嘘を言っていない」というのは伝わる。このことは筆者の実践の中でも明確に表れている(拙著『「科学者が科学を語る」報告書』)。RCにおいては、もちろん相手に正確な情報を伝えなければならないが、相手と信頼関係を構築するという段階もきわめて重要である。その点で、科学者自らが話すというのはRCにおいて大きな意義があるといえる。

IV. 展望

1. ステークホルダー全体の議論へ

RCの実践を通して日ごろから感じることだが、RCは決して自己満足のためにやってはいけない。「こちらは十分に情報を伝達した」という既成事実を作るために行うものでもない。RCはあくまで、科学的な見地からリスク評価を下し、それに基づいてリスク管理・政策をした上で、それらを社会に役立てるべく一般に伝える取り組みである。リスク評価とリスク管理・政策を伝えることで社会をよりよくするという、この点は決しておぼろげではない。筆者自身も折に触れてこの点に立ち返るようにしている。

RCにおいては、行政・企業・科学者・メディア・市民

などすべてのステークホルダーが対等な関係で信頼関係を構築することが目標とされるのだが、そのためにはステークホルダー全体で問題意識を共有し責任の分担を行うという段階が必要である。

筆者が英独での留学を経て、日本に帰国してからずっと感じていることであるが、日本では何かが問題になると、すぐに「事業者がきちんとすべきだ」とか「行政が対応すべきだ」といったように、責任の押し付け合いの議論が起りやすい。新聞の社説においても、行政や企業が対応すべきだという論調になることがあるが、そうした考え方からは自分たちで社会をよりよくしようという意図が見られない。

筆者が長年滞在したドイツでいえば、1980年代に脱原発の機運が高まった時、「誰かが何とかしてくれるだろう」というのではなく、「自分たちでやれることはやろう」という意識が市民たちの中に見られた。そうした市民は「少し割高でも代替エネルギーを購入しよう」と考え、風力発電に投資しているような電力会社を自ら選択している。一般的な電力会社と契約するよりも割高な電気料金を払わなければならないが、それでも脱原発のためならその料金を受け入れるという市民たちが大勢いる。割高な電気料金は、脱原発を進める市民としての責務として捉えられているのである。脱原発を進めたいならば、ステークホルダーであるかぎり、市民であっても責務を負うべきだという考えがある。

それに対して、日本においては、市民は何にも責務を負わずに、割安な電力を消費しながら、その一方で脱原発を主張している。このままでは日本は確実に立ち行かなくなってしまう。行政・企業・科学者・メディア・市民などすべてのステークホルダーが問題意識を共有し、誰がどの程度どういう責務を負うのか、手間と時間をかけて話し合う必要がある。

2. 議論する「場」の創出

日本社会では従来、欧米よりも科学的な議論が高まりにくいと考えられてきた。しかし、筆者の実践から言えば、その発想は端的に言って誤りだ。反例となる実践例を最後に一つ挙げておきたい。

筆者は今年4月から静岡県でヨーロッパ型の市民勉強会(市民パネル)を企画している(<http://Literajapan.com/20150124-2>)。これは全3回にわたって、原子力をテーマに専門家・事業者・メディア・市民が疑問点を出し合い、相互理解を深める試みである。そこでは専門知識をもたない一般市民がきわめて質の高い議論をしている(第1図)。

例えば、原子力発電のリスクを論じた回では、あるグループから次のような発表があった(第2図)。やや長いですが、勉強会の議事録から一部引用する。「何を信用したらよいか考えることがポイントだ。それを判断するに



第1図 市民勉強会のグループ討論

は、自ら情報収集をしたり講演を聞いたりして、たくさんの情報をテーブルの上に出さなければならない。そうして自分の頭で考えて納得するプロセスが必要不可欠だ。子どもの頃からさまざまな情報を手元に置いて自分の意見を固める訓練が必要だろうし、大人の私たちも普段の自治会や集まりで、今回の市民勉強会と同様の手法で考え合うことが必要だ。他人事ではなく自分で考える風土を作らないといけない」。ここには本稿で示したRCの本質がまさに表れている。日本人が欧米で行われるような市民パネルを苦手としているというのは単なる思い込みすぎない。ただ単にこれまで対話や議論の「場」がなかったのが問題だったのである。

近年の実践例を見るかぎり、日本でも対話や議論の場を作るだけで、RCの現状は大きく変わるように思われる。今後、日本社会を成り立たせるには、上記のような市民勉強会をもっと取り入れ、市民が対話に参加する機会を増やすべきだろう。そして、それと同時に科学者の側もまた、こうした対話を促進するために、これからは



第2図 グループ代表者による発表

RCの重要性を認識し、ステークホルダーとコミュニケーションをとる覚悟をもたなければならない。科学者はもはや技術を考えるだけでは役割を全うしたことにはならないのである。

－ 参考資料 －

- 1) 西澤真理子『リスクコミュニケーション』エネルギーフォーラム新書, 2013年.
- 2) 西澤真理子「パブリック・アクセプタンスから対等なコミュニケーションへ」『エネルギーレビュー』vol.413(2015年6月号), 2015年.
- 3) 西澤真理子『「科学者が科学を語る」報告書』独立行政法人 防災科学技術研究所, 2006年.

著者紹介



西澤真理子 (にしざわ・まりこ)

リテラジャパン代表

(専門分野/関心分野) リスク政策, リスクコミュニケーション

放射性物質の動きを調べる

原子力機構による環境回復の取組(2)

日本原子力研究開発機構 飯島 和毅

原子力機構が進めてきた「福島長期環境動態研究(F-TRACE)」では、森林から河川水系を通り、生活圏、海域に至る放射性物質の挙動を調査し、将来の挙動を予測するためのツールを整備してきた。これまでの調査研究により、放射性セシウムの移動挙動を概ね定量的に評価し、挙動を解析するためのツールを整備しつつある。今後、これらの知見、データ、解析ツール等を包括的なシステムとして整備し、福島県の農林水産業の復興等につなげていきたい。

KEYWORDS: *Transport behavior in the environment, Radioactive cesium, Forest, River system, Dissolved cesium, Particulate cesium, Predictive modeling, Air dose rate*

I. はじめに

前報で紹介したように、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)では、東京電力福島第一原子力発電所事故後の福島県において、放射性物質による汚染や線量率の分布状況把握とその経時変化を追うための環境モニタリング、生活圏における線量率の低減を目指す除染に関し、さまざまな技術開発や評価を進めてきた。このような「現状を把握する」あるいは「現状を改善する」ための取り組みに加え、「将来を予測する」ための取り組みとして行われてきたのが、環境動態研究である。今回は、原子力機構が行ってきた福島長期環境動態研究を中心に動態研究の取組を紹介する。

II. 事故後の環境動態研究

環境動態研究とは、環境中における放射性物質の挙動の特徴(動態)を調べる研究である。さまざまなアプローチが取られてきたが、最終的にシミュレーションにより環境中に放出された後の放射性物質の動きを予測することを目指している。原子力機構原子力科学研究部門が開発したSPEEDIもその一つであり、大気中の拡散だけで

なく、その後の陸域・海洋での放射性物質の動態を包括的に予測することを目指したものである。このようなシミュレーションツールは、今回のように放射性物質が環境中に放出される事故が起こった際に、その後の避難計画立案に必要な放射性物質の分布に関する情報を提供できるほか、将来の放射性物質の分布状況の変化から、効果的な除染計画の立案や産業復興に向けた対策立案に役立てることが期待される。

このようなシミュレーションの精度を確保するためには、解析対象となるエリアの特徴を考慮することが必要である。そのため、今回の事故後、さまざまな研究機関が、事故の影響を受けたエリアで環境動態に関する調査を行い、データを取得してきた。原子力機構では、平成23年6月に文部科学省から「放射性物質の分布状況等に関する調査研究」を受託し、大学等の国内の研究機関とともに空間線量率や放射性核種の分布状況マップの作成や、森林、河川、地下水、土壌中の放射性物質の分布状況の変化傾向についての調査を実施してきた(以下、マップ事業)¹⁾。

また、筑波大学を中心とする大学連合は、長期的な環境中の放射性物質の移行および環境動態予測に研究者が英知を結集させて取組み、世界をリードする新たな研究領域の形成を目指すとして、新学術領域研究「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究(ISET-R)」²⁾を提案、平成24年6月にスタートした。国立環境研究所においても、多媒体での放射性物質実態把握・動態解明に関する研究を平成24年にス

Research on transport behavior of radioactive contaminants in the environment: Activities for the environmental recovery by JAEA (2): Kazuki Iijima.

(2015年6月17日受理)

■前回タイトル

(1)環境回復の取組の概要と遠隔放射線モニタリング

ターゲットさせている³⁾。このような中、原子力機構では、平成26年11月から、福島市の福島技術本部(現、福島研究開発部門福島環境安全センター)に駐在するメンバーを中心に、「福島長期環境動態研究(F-TRACE; Long-term Assessment of Transport of RadioActive Contaminant in the Environment of Fukushima)プロジェクト」を立ち上げた。

Ⅲ. 福島長期環境動態研究の概要

1. 背景

F-TRACEプロジェクトは、鈴木篤之元理事長の号令の下、内閣府から原子力機構が受託した除染モデル実証事業や、自治体の除染計画等の立案支援に携わっていたメンバー数名が中心となって企画立案した。当初、プロジェクトの第一の目的は、放射性セシウムの移動に関する信頼性の高いデータを蓄積することであった。プロジェクトの検討開始が平成24年7月頃と、事故から1年4ヶ月が経過しており、初期の比較的速い放射性セシウムの移動挙動は収束しつつあると考えられたが、こういったデータの蓄積が、必ず今後の復興や将来起こるかもしれない事故への備えとして必要になると考えたからである。

しかし、プロジェクトを企画したメンバーには、さらに別のモチベーションがあった。1年近くにわたり、除染モデル実証事業、自治体支援で住民や自治体の方々と接してきたメンバーは、彼らの「一度除染したとしても、すぐに山から風や雨で放射性物質が移動してきて、再汚染されるのではないか」「農業、林業、水産業を再開しようにも、森林、河川、海は汚染されたままで再開できず、生活が成り立たないのではないか」といった不安をよく耳にしてきた。しかし、残念ながらそれらの不安に対する明確な科学的根拠に基づく回答を持っていなかった。そこで、F-TRACEプロジェクトでは、①放射性セシウムの移動挙動に関するデータを取得し、移動予測モデルを開発すること、②放射性セシウムの移動による被ばく線量や放射性セシウム濃度の変化を推定すること、③必要であれば、被ばく線量や放射性セシウム濃度低減に有効な移動抑制等の対策を提案すること、の3点を目的とし、その成果をもって住民の方々の帰還促進や福島県内の農業・林業・水産業の復興につなげていくことを目指すこととした。

2. アプローチ

(1) プロジェクトの進め方

現在、調査8テーマ、解析4テーマの合計12テーマにプロジェクトを細分化し、研究開発を進めている(第1図)。

(2) 現地調査

調査対象は、浜通り側を流れる河川のうち、福島第一

【森林調査】 ・森林内におけるセシウム移動挙動調査 ・森林外への土砂-セシウム移動挙動調査	【土壌流亡挙動解析】 ・土砂-セシウムの河川水系への移動モデル開発 ・パラメータ整備と山地森林域からのセシウム移動予測解析の実施
【ダム・ため池調査】 ・湖内における土砂-セシウム堆積挙動調査 ・湖水中のセシウム形態・濃度調査	【河川水系移動挙動解析】 ・1・2・3次元土砂-セシウムの水系移動挙動解析ツールの整備 ・パラメータ整備と河川水系におけるセシウム移動予測解析の実施
【河川調査】 ・河川数での土砂-セシウム堆積挙動調査 ・河川水中のセシウム形態・濃度調査	【被ばく評価】 ・セシウム分布に基づく外部被ばく線量評価ツール・放射性セシウム濃度評価ツールの整備
【河口域調査】 ・河口域での土砂-セシウム堆積挙動調査 ・海中のセシウム形態・濃度調査	【移動抑制技術開発】 ・微細土壌粒子の移動抑制技術の比較評価
【長期線量率・市街地調査】 ・生活圏に近い場所における線量率変動と変動要因調査	【評価システム開発】 ・データベース/予測ツール/知見・対策提案等を統合した包括的評価システムの開発・整備
【沈着挙動評価】 ・地衣類を用いた沈着挙動評価手法開発	
【核種の微視的挙動解明】 ・ミクロ量放射性セシウムの土壌・有機物等との反応機構の解明	

第1図 F-TRACEプロジェクトの研究項目

原子力発電所の南北を流れる5河川(小高川、請戸川、前田川、熊川、富岡川)を対象とした。これらは、農業用水や内水面漁業の場として利用されており、流域の自治体にとって農林水産業の復興のために必要不可欠な河川であること、河川の流域に除染モデル実証事業で除染を行ったエリアが存在(前田川を除く)し、その時のエリアの調査結果が役に立つこと、比較的線量率が高いエリアを流れており、適切な放射線管理対策が取れる原子力機構が実施すべきこと、等の理由から、この5河川を選定した。その後、流域の復興に向けた取り組みが進み、調査の需要が高まった太田川、木戸川を加え、平成26年度は7河川水系で調査を行った(第2図)。

河川水系における調査は、森林調査(放射性セシウムの流出源)、河川調査(移動場)、ダム・ため池調査(堆積場)、河口域調査(出口)の4領域に分かれて進められており、それぞれの場において放射性セシウムの移動を支



第2図 F-TRACEプロジェクトの調査対象河川水系

配する現象に着目し、データを取得している。また、河口域から単位時間当たりには海に流出する量(流出フラックス)については、原子力機構原子力科学研究部門が実施している海洋での移動シミュレーションの入力データとして提供されることとなっている。

(3) 解析

解析ツールの開発に当たっては、移動メカニズムを支配する個々の物理・化学現象を表現する数理モデルを組み合わせ、大雨・高水イベント(台風時の豪雨のように水位が大きく上昇するような事象)等が起こった時の森林から河口域までの放射性セシウム濃度変化を系統的に予測する手法(現象論的モデル)を採用している。これは、台風等の高水イベント毎の変化を予測することを目指したこと、住民の方々や事業者の将来の外部被ばく線量や農・林・水産物中の放射性セシウム濃度の増加を抑制する手法の提案のためには、増加に寄与する移動経路とメカニズムを特定する必要があること、が主な理由である。なお、前述のマップ事業では、生活圏における空間線量率の経時変化による住民の方々や事業者の将来の外部被ばく線量の変化を予測することを目的とし、事故からこれまでの空間線量率や放射性セシウム沈着量の変化傾向を統計的に解析、その傾向を外挿することにより、経験的に将来の空間線量率を予測する手法(経験論的モデル)を採用している。これは、マップ事業で得られた広範囲にわたる膨大な経時変化データに基づき予測するのに適した手法であり、F-TRACEと相互補完的な関係にある。

モデル体系は、大きく土壌流亡解析(流水などによって土壌が土地から流されてなくなる挙動の解析)、河川水系移動解析、被ばく評価で構成される。土壌流亡挙動解析では、山地森林域から土壌粒子とともに移動し、河川水系に流入する放射性セシウムの移動をモデル化している。河川水系移動解析では、この流入量を入力データとして、懸濁物質とともに河川中を移動・堆積する放射性セシウムの挙動をモデル化している。これらのモデルによって計算された河川水系内の陸域における放射性セシウム濃度の分布を入力データとして、任意の地点における外部被ばく線量を計算するモデルを作成している。また、河川水系移動解析モデルでは、懸濁物質や堆積物への放射性核種速度論的な収脱着を考慮でき、各地点における水中の溶存態放射性セシウム濃度も計算可能であるが、これは農産物や水産物中の放射性セシウム濃度を予測する上でカギとなるものである。

Ⅲ. 福島長期環境動態研究で得られた知見

1. 森林～河川水系における移動挙動調査

(1) 森林

森林内の放射性セシウムの動きとしては、①樹木から地表面に向かう移動、②地表面から地下に向かう移動、

③斜面の上から下に向かう移動の3つに大別することができる。

①樹木から地表面に向かう移動

葉、枝、樹皮等に付着していた放射性セシウムは、落葉・落枝、林内雨、樹幹流により、地表面に移動する。事故から3年が経過した2014年時点で、樹木に存在していた放射性セシウムの多くは林内雨および落葉・落枝により地表面に移動しており、今後は樹皮等に付着したものがわずかに樹幹流により少しずつ移動していくと考えられる。このような森林内で水とともに移動する挙動は、樹木内やキノコ・山野草内の放射性セシウム濃度に影響を与えている可能性があり、今後の森林利用の再生に向けて注視していく必要がある。

②地表面から地下に向かう移動

地表面に沈着した放射性セシウムは、徐々にリター層(分解前あるいは分解途上の落葉・落枝の層)に浸透し、やがて表土に到達する。ここで、放射性セシウムは表土中の粘土鉱物等の鉱物に強く吸着されるため、表面付近にとどまり、地下深くまでは移動しない。これまでの調査結果においても、時間とともにわずかに下方への浸透が認められるもののいまだに表土表面から5cm以内に90%前後の放射性セシウムが存在している。

③斜面の上から下に向かう移動

森林から河川水系に移動する放射性セシウムのフラックスを決める移動である。斜面に設けた観測区画における観測や小水系出口からの土砂流出量の観測などから、1年間に表土中の放射性セシウム沈着量の0.1%程度が流出し、河川水系に流入している。この流出する土砂中の放射性セシウム濃度は時間とともに低下していることから、河川水系に流入する放射性セシウムのフラックスも時間とともに減少すると考えられる。

(2) 河川

土砂粒子とともに河川水系に流入した放射性セシウムは、移動・堆積しながら、下流へと流れる。そのため、①河川水による放射性セシウムの移動と、②河川敷への放射性セシウムの堆積の2つが評価のポイントとなる。

①河川水による放射性セシウムの移動

河川水中に含まれる放射性セシウムは、セシウムイオンなどの形で水に溶けている溶存態と、土砂粒子などに吸着された形で水中に存在する懸濁態に分けられ、通常、孔径0.45mmのろ過フィルターを通過するもの(溶存態)とろ過されるもの(懸濁態)として区別される。懸濁態は、主に高水流量時等流速が速い時に移動し、河口域からの放射性セシウム流出フラックスの90%以上を占める。一方、溶存態は、低水時・高水時ともほとんど濃度は変わらないものの、いずれの河川でも1Bq/L未満の非常に低い濃度で推移していることから、放射性セシウム流出フラックスに占める割合は少ない。溶存態の濃度は、河川水を灌がい用水として利用する際に、農作

物中の濃度を推測する基本的な情報となる。

②河川敷への放射性セシウムの堆積

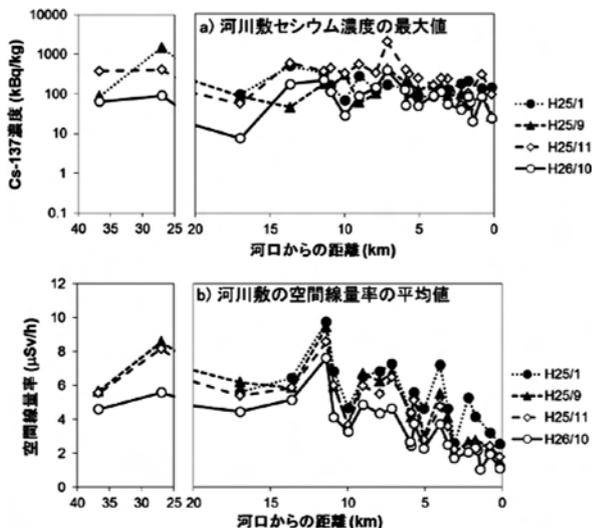
これまでの調査から、中・下流域では通常の河道に近い砂・礫の堆積が顕著な部分では線量率が低く、河道から1~1.5m程度高い植生が繁茂した高水敷には、細粒分の堆積物が認められ、比較的線量率が高くなっていることが分かっている。これは、台風等の高水流量時に、上流から放射性セシウムを高濃度で取着した細粒分の土壤粒子が輸送され、高水敷の植生に捕捉される一方、河道付近の砂礫部分に堆積した細粒分の土壤粒子は、その後の増水時に浸食され、下流に流されるためと考えられる。特に下流域では、放射性セシウムが堆積・浸食を繰り返すため、その地点における放射性セシウム濃度の最大値は増減を繰り返すものの、このような放射性セシウムが堆積しやすい場所は限定的であるため、河川敷の空間線量率は全体として物理減衰相当の減少傾向を示している(第3図)。このような河川敷の放射性セシウム濃度や空間線量率は、河川敷の公園や河川敷に隣接する生活圏における除染計画の立案や河川管理方法の検討に役立てられる。

(3) ダム

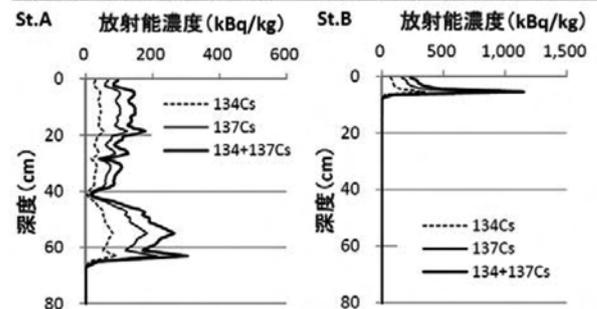
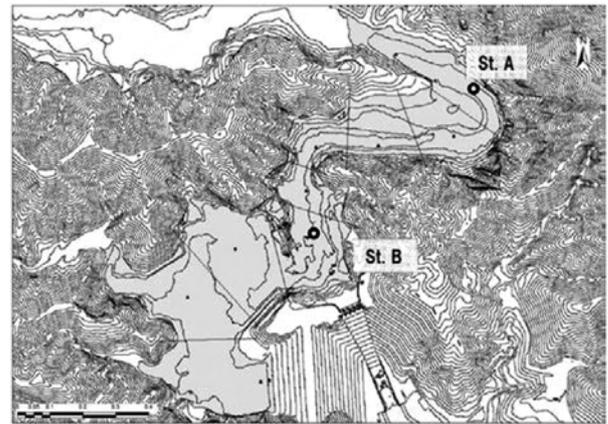
ダム湖は、土砂とともに移動する放射性セシウムの堆積場として、環境回復を進める上で重要な役割を果たしている。また、灌がい用水源として利用する上で、湖水中の溶存態放射性セシウム濃度の評価は重要である。

①放射性セシウムの堆積挙動

例えば、請戸川水系の大柿ダムの場合、高水時に流入する土砂の90%以上は、ダム湖に堆積する。深さ方向のプロファイルの一例を示す(第4図)。最も濃度が高い部分は2011年3月の事故による放射性セシウムの直接沈着に起因するものであり、それより上の部分は事故後の高水時に堆積したものと推測される。堆積する土砂中の放射性セシウム濃度は時間とともに低下する傾向にあ



第3図 請戸川上~下流における河川敷の放射性セシウム濃度最大値と空間線量率平均値の経時変化



第4図 大柿ダム湖上流側(St.A)および下流側(St.B)で採取された底質の深さ方向の放射性セシウム濃度分布(平成25年10月28日採取)

る。これらの情報は、河川水系に土砂とともに流入する放射性セシウムフラックスの解析結果の検証データとしても利用される。

②ダム湖水中の放射性セシウム

大柿ダムの場合、溶存態の放射性セシウム濃度は約0.3Bq/Lで、季節や浮遊懸濁物質の有無によらず、概ね一定である。ダム湖底質表面の放射性セシウム濃度は100~300kBq/kg程度であることから、見かけの分配係数は $10^5 \sim 10^6$ L/kgオーダーと推測されるが、これはこれまでに報告されている粘土鉱物に対する分配係数より1~2桁程度大きな値である。このことから、放射性セシウムは堆積物中の土砂粒子に強く吸着されており、湖水中の溶存態放射性セシウム濃度は非常に低く保たれていると言える。このような情報は、湖水を灌がい用水として利用する際に、農作物中の濃度を推測する基本的な情報となる。

(4) 河口域

河口域は、河川により土砂粒子とともに運ばれた放射性セシウムが、最終的に堆積・拡散する場であり、特に、海産物への影響を評価する上で、海底土中および海水中の放射性セシウム濃度の評価は重要である。

①海底土中放射性セシウム濃度

海底土表面の放射性セシウム濃度は、請戸川河口域の比較的高いところでも数kBq/kg程度、大部分は0.01~0.1kBq/kgのオーダーであり、河口付近の河床土の10分の1以下になっている。この比較的高い放射性

セシウム濃度は細粒分の堆積物中で観測されているが、堆積相の観測結果によるとそのような細粒分が堆積する場所は、凹状の海底地形部等極めて限られていることが分かった。

②海水中放射性セシウム濃度

河口域付近の海水中の溶存態放射性セシウム濃度は、0.01Bq/L前後であり、海底土中の放射性セシウム濃度の値から見かけの分配係数は $10^4 \sim 10^5$ L/kgオーダーと推測される。これは河川やダム湖における値より1桁程度小さな値であり、海水と接触することで土砂粒子に吸着されていた放射性セシウムの一部が脱離されている可能性を示唆するものである。これは、室内実験でも確認されており、海域における放射性セシウムの挙動評価上重要である。

(5) 移動抑制技術開発

移動抑制技術開発は、山地斜面からの微細土壌粒子(流れがよどめば沈降する大きな土砂粒子ではなく、沈降しにくい微細な粒子が対象)の流出防止、小河川における微細土壌粒子除去のための技術評価を進めている。

2. 生活圏周辺における移動挙動

(1) 長期線量率・市街地調査

長期線量率・市街地調査は、生活圏の除染実施/未実施境界付近で、放射性セシウムの移動の有無とそれを支配する現象を把握するため、除染モデル実証事業実施エリア6か所で、継続的に線量率等の観測を行うとともに、市街地における放射性セシウムの移動経路や線量率を決定する線源位置の把握などを進めている。斜面下端付近では、一時的に落葉や土砂が堆積・流失することで地表面付近の線量率に増減が認められるものの、いずれの地域・地点でも空間線量率は、安定的に物理減衰相当かそれより速い減少傾向を示しており、これら堆積物の影響は極めて限定的といえる。

3. 移動挙動を支配する現象の理解

(1) 放射性セシウムの化学的挙動

放射性セシウムの移動に影響を及ぼす個々の物理・化学現象を理解し、モデル化に必要な支配方程式やパラメータの取得のため、核種挙動解明に関する研究を進めている。例えば、放射性セシウムを吸着した粘土鉱物粒子が汽水域に到達すると、水中の塩濃度の増加により放射性セシウムの脱離や、粘土鉱物粒子の凝集が起こると推測される。このうち脱離に関しては、森林土壌や河川堆積物に対する放射性セシウムの吸着・脱離実験を実施し、含まれる粘土鉱物を主体とした吸着モデルにより、吸着挙動を概ね再現可能なことを確認した。この吸着モデルにより、様々な条件下での土砂粒子に対する放射性セシウムの吸着の強さを計算することが可能になる。また、脱離挙動は土砂粒子の粒径や鉱物組成の影響を受け

ると考えられ、現在、モデル化を進めている。

(2) 地衣類を用いた沈着挙動評価

地衣類を用いた沈着挙動評価は、地衣類が放射性核種を長期にわたり保持しやすいという特徴に着目し、地衣類中の放射性セシウムの濃度や化学種を調べ、初期の沈着挙動解明とその放射性セシウム動態に及ぼす影響を評価するため、河川水系調査の関係自治体および田村市・福島市の公共的な場所で調査を進めている。これまでの調査から、地衣類中の放射性セシウム濃度と、事故後初期(2011年6月)に採取された土壌中の放射性セシウム沈着量との間に、良好な正の相関関係が認められ、地衣類中の放射性セシウム濃度を初期沈着の指標として用いることが可能と考えられた。

4. 解析ツールの整備

(1) 土壌流亡解析

土壌流亡解析については、現在、経験式であるUSLE式に基づき解析を行うSACTを開発した。これを用いて、調査対象とする浜通り側河川のみならず、阿武隈川を含む主要河川における土壌流亡に伴う放射性セシウムの河川水系への流入量を見積もっている。一方で、経験式では、1年間の平均的な移動挙動しか評価できないため、台風等の高水イベント毎の移動挙動の評価に向け、流域水循環モデルGETFLOWSの適用を進めている。

(2) 河川水系移動挙動解析

河川上流から下流までの大きな動きは1次元モデルで解析可能だが、特に、河川敷に放射性セシウムが堆積しやすい地点では、河川敷横断方向の堆積挙動の違いを考慮するための2次元モデル、ダムや河口域のように水路が深く幅も広い地点では、深さ方向の流速等の分布に起因する移動挙動の違いを考慮するための3次元モデルがそれぞれ必要となるため、1次元から3次元までのモデルを開発し、適切なモデルを用いることとしている。

例えば、1次元モデルについては、米国パシフィックノースウエスト国立研究所で開発されたTODAMコードを用いている。このコードは、土砂粒子と放射性物質の速度論的な吸脱着反応を考慮できるのが特徴である。これを用いて、高水時の大柿ダム上流からの流入データを入力とし、大柿ダム放流工からの土砂粒子および放射性セシウムの流出挙動を計算したところ、実測値とよく一致した。

(3) 被ばく評価

空間線量率は、土壌中の放射線源の水平方向分布だけでなく、表土中の鉛直方向分布に依存する。これは、表土表面に存在する線源に比べ表土中に存在する線源は、表土による遮へいを受けやすいためである。このような放射線源の分布状況を考慮した外部被ばく線量解析ツールを、被ばく線量評価コードPHITSをベースに開発した。このモデルを用いて除染モデル実証事業で除染を

行った大熊町夫沢地区における空間線量率分布を計算したところ、実測値と整合的な結果が得られた。

IV. 今後の展望

福島県内に残存する放射性セシウムは約80%が森林に存在するが、森林から河川水系への流入量は1年間に0.1%前後と極めて少ないことが分かった。これは、裏を返せば、今後も長期にわたり放射性セシウムが森林に残存するということであり、森林が木材資源の場、薪、炭、キノコ、山野草等の林産物資源の場、山の恵みをいただく季節を感じる生活の場としてかけがえのないものとなっている福島県にとって、森林における活動をいかに安全に再開するかは、住民の方々が帰還し生活を再開する上で、大きな課題の一つである。原子力機構では、今年度から山域における放射性セシウムの詳細な分布状況と移動挙動の把握に着手し、山域における分布・移動の特性を踏まえた管理手法の検討に生かしていく予定である。

評価システムとしては、これまで開発を進めてきた核種解析ツールに加え、解析に必要なデータベース、予測解析結果や現地調査結果に基づく移動現象に関する知見、参考文献情報、理解促進コンテンツ等の知識ベース等をまとめた包括的評価システムの構築にも着手した。これにより、住民や自治体の方々が、環境動態研究の成果に基づき、将来の放射性セシウムの動き、必要に応じとるべき対応、それらのベースとなる科学的根拠を知ることができ、将来の生活に対する不安を少しでも解消することにつながることを期待したい。

さらに、F-TRACEプロジェクトは、福島第一原子力発電所を中心に、放射状に様々な調査サイトを持ち、環

境中における放射性セシウムの物理的・化学的挙動を詳細に調べてきた。一方で、発電所サイト内はいまだに線量率が高く、調査もままならない状況と聞く。我々のデータをうまく外挿することができれば、その中心たる発電所サイト内の状況を推測することに活用できる可能性もある。今後、環境回復という一面だけでなく、廃炉プロセスのサポートという観点からもデータの活用や調査研究を進めていきたい。

— 参考資料 —

- 1) 原子力規制庁ホームページ：文部科学省による放射線量等分布マップ(線量測定マップ)の作成について
http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5044/24/5600_080218.pdf (2015年5月閲覧)。
- 2) 筑波大学ホームページ：ISET-R 福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/hydrogeo/isetr/> (2015年5月閲覧)。
- 3) 国立環境研究所ホームページ：多媒体での放射性物質実態把握・動態解明(平成26年度)
http://www.nies.go.jp/subjects/22625_fy2014.html (2015年5月閲覧)。
- 4) 飯島和毅、他：福島長期環境動態研究(F-TRACE)における現地調査の現状、原子力バックエンド研究, 20(2), 83-86 (2013)。

著者紹介

飯島和毅 (いじま・かずき)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 環境中・地下深部における放射性核種の移行挙動



地層処分のサイト選定の取組状況(その2)

公募方式によるサイト選定—カナダ, 英国—

原子力環境整備促進・資金管理センター 佐原 聡, 稲垣 裕亮

本解説シリーズの1回目でドイツおよびスイスの高レベル放射性廃棄物などの地層処分でのサイト選定を取り上げたが、今回はカナダおよび英国でのサイト選定の取組を報告する。これらの両国は、わが国と同様な公募に基づくサイト選定が行われているが、現時点の状況は大きく異なり、カナダが多くの地域でサイト選定のための調査を進行させている一方、英国はカンブリア州での失敗を受けてサイト選定プロセスのやり直しが行われている。エリザベス2世を女王とする両国で、ほぼ同様な時期および方法でサイト選定が開始・実施されているが、どのような経緯で現状となっているかを中心にサイト選定の取組状況をまとめる。

KEYWORDS: *Canada, United Kingdom, High-level Radioactive Waste, Geological Disposal, Repository Site Selection, Expression of Interest, Right of Withdrawal*

I. はじめに

高レベル放射性廃棄物は、極めて長期にわたりわれわれの生活環境から遠ざける必要があり、その方法として地下深部の安定な地層中に処分する「地層処分」が最も好ましい処分方法であることが国際的な共通認識となっている。処分事業の進捗状況は、フィンランドやスウェーデンなどの処分場サイトが決定して許認可段階まで進んでいる国、カナダ、スイスなど現在は処分場のサイト選定が行われている国など様ではない。米国やドイツのように、一度は処分場サイトを選定したものの、地元などの反対のため、サイトの見直しが進められている国もある。

そこで本解説では、今後のわが国のサイト選定での参考とするため、2回のシリーズで、今後サイト選定が行われる国、現在、サイト選定が行われている国を取り上げ、サイト選定方法採用の経緯、実際の選定の実施状況などを報告する。

第2回は、主に公募に応じて関心表明をした地域に対して段階的な調査を行って処分場サイトを選定する方針を

Status of site selection for geological disposal facility in foreign countries (2). Canada and The United Kingdom cases : Satoshi Sahara, Yusuke Inagaki.

(2015年5月28日受理)

■前回タイトル

(1) 地質学的基準によるサイト選定—ドイツ, スイス

取っているカナダおよび英国を取り上げる。

II. カナダにおける地層処分

カナダでは、州営電力会社が1983年までに重水炉(CANDU炉)を5カ所の発電所で計22基導入し、2013年以降は19基が稼働している。2014年6月末時点での使用済燃料の発生量は約5万tUであるが、燃料としては濃縮ウランを使用せず、自国産の天然ウランを使用していることや、燃料集合体が小型であることから、集合体数では250万体和膨大となる。うち約100万体和は既に燃料プールから搬出され、発電所内で乾式貯蔵されている。既設原子炉の営業運転終了までに発生する使用済燃料は、約460万体和と推定されている。

ウラン資源が潤沢であるため再処理は経済的に適さないと考えられており、使用済燃料は「核燃料廃棄物」として地層処分する方針である。

1. 使用済燃料の長期管理方針

2007年6月に決定したカナダ国家の使用済燃料の長期管理方針は「適応性のある段階的管理」(Adaptive Phased Management, 以下「APM」という)と呼ばれる。APMにより、使用済燃料は各原子力発電所で分散して貯蔵している状態から、1カ所で集中的に安全に管理するオプションを組み込み、技術的には、使用済燃料を地下深部の適格な岩石層内に建設する地層処分場に閉じ込め、隔離することになる。核燃料廃棄物の処分実施主体

であるカナダ核燃料廃棄物管理機関(NWMO)は目標達成までの期間を300年以上と想定しており、全体を3期に分けている。処分開始予定は、サイト選定(第1期)、地下特性調査施設での技術実証と確認(第2期)を経た、APM開始から約60年後の第3期である。「Adaptive」の特徴は、第2期(約30年後から)でのオプションとして組み込まれている、地下浅部での集中貯蔵に現れている。APMは、例えば原子力発電所立地地域の要望により、使用済燃料の貯蔵を発電所外で早期に始める必要が生じた場合への危機管理対応を含む格好となっている。

地層処分場にとって潜在的に適する地層として、北米大陸の北東部に広がるカナダ盾状地の結晶質岩(先カンブリア紀に形成された岩盤)、もしくはオルドビス紀(約5億年前)の堆積岩が考えられている。NWMOは、APMの検討過程で聴取したカナダ国民の意見に基づき、サイト選定プロセスを核燃料サイクルに直接関係する州=原子力立地州=の内部に絞るのであれば、公正さ[fairness]という目標を最もよく達成できるとの考えを取っている。原子力立地州とは、原子力発電所のあるオンタリオ、ケベック、ニューブランズウィックの東部3州と、ウラン鉱山があるサスカチュワン州を指す。

2. 地層処分場サイト選定プロセス

(1) サイト選定方法の検討—公募方式の採用

NWMOは2008年5月に公表したサイト選定プロセスの設計に関する協議文書において、自治体が立地場所、検討すべき事項、選定基準、選定手順などの決定に関与できるようにプロセスを設計する方針を説明した。そして、自治体が十分な情報を得た上で自らの意思でプロセスを進みつつ、NWMOとの事前合意のもとで撤退権をもつようにしたい意向を表明した。

協議文書による意見募集と並行して、NWMOは原子力立地州(4州約330km²)の地質特性を調査し、事前に広い領域を除外するのは現実的でないとの検討を行っている。その後NWMOは、2009年5月に9段階構成のサイト選定計画案を公表して意見募集を行い、2010年5月に『連携して進む』と題したサイト選定計画の報告書¹⁾の公表とともに、プロジェクトに関心表明する自治体の公募を始めた。

(2) サイト選定の計画と原則

使用済燃料の長期管理プロジェクトには、地層処分場と輸送システムのほか、地元自治体や周辺地域と共同開発する専門技術センター(Center of Expertise)が含まれている。このセンターは、地下特性調査施設あるいは地下研究所ではなく、サイト選定プロセスの中核となる、技術的安全性と地域社会の福祉に関するテストと評価のサポートを目的とした施設と位置づけられている。このセンターは、現地での地球科学的調査等の拠点としてのみならず、地元ニーズに応える機能(例えば、地域社会の

集会所や学習センター)を備えるように開発する計画である。

サイト選定プロセスの段階(第1表)は、NWMOが行う各種調査のフェーズではなく、自治体が踏むステップに即した構成である。NWMOは、自治体のプロジェクト受入れ意思を確かにするために、最終的には自治体住民の意思表示がなされる必要性(第5段階)を明確にしている。ただし、自治体がプロジェクトやサイト選定プロセスについて知識を深め、住民を関与させ、自らの関心度を評価するには時間を要するとの認識から、初期では地方行政組織の責任当局が代表して関心表明を行うよう求めている。NWMOは、自治体がプロセスへの関与を継続できるように情報と資金の提供を確約している。

(3) 地方自治制度との関係

カナダでは、地方自治制度は州によって異なるうえ、一層制と二層制が混在している。オンタリオ州の場合、カウンティと呼ばれる二層制の地域では、上層自治体と下層自治体で行政権限や責任の分担がなされている。NWMOはサイト選定プロセスへの関心表明は、上層・下層の自治体のいずれからでも受け付けている。土地利用計画の策定は上層自治体の管轄であるため、第3段階において潜在的適合性を有する土地が明らかになった後、NWMOは当該下層自治体と協力して、第4段階において周辺自治体を含む上層自治体レベルで調査できるように働きかけるとしている。

第1表 カナダのサイト選定プロセスの概要

第1段階	NWMOがサイト選定プロセスを開始。プロジェクトとサイト選定プロセスへのカナダ国民の意識を高めるプログラムを実施する。
第2段階	知識を深めたい自治体に対してNWMOが詳細な説明を行う。自治体から求めがあれば、初期スクリーニングを行う。
第3段階	関心表明した自治体について、潜在的な適合性の予備的評価が行われる。
第4段階	関心表明した自治体について、影響を受ける可能性のある周辺自治体が未参加の場合は参加を働きかける。詳細なサイト評価を完了する。
第5段階	適合するサイトの存在が確認された自治体は、プロジェクトの受け入れ意思を決定し、プロジェクトを進める条件を提示する。
第6段階	NWMOが優先サイトを選ぶ。NWMOと優先サイトの所在自治体[1つ]は、プロジェクト受け入れに係る正式協定を締結する。
第7段階	規制当局は、許認可プロセスを通じてプロジェクトの安全性を審査する。安全要件が満たされている場合、プロジェクトを進めることを承認する。
第8段階	地下実証施設の建設・操業
第9段階	地層処分場と地上施設の建設・操業

さらに、オンタリオ州北部のように、森林と湖水が広がる中に市街地が点在する地域では、ディストリクトと呼ばれる領域に属する自治体が連合して行政サービスを提供するが、その域内には州政府が自治体に管轄権を設定していない広大な土地がある。この場合、自治体域外の立地に関心をもつ場合も関心表明が可能である。

3. サイト選定プロセスの進捗状況

(1) 関心表明と初期スクリーニング—第2段階

地層処分場のサイト選定プロセスは2010年5月に開始された。2012年9月末までの約2年半で、プロジェクトやサイト選定プロセスに関する知識の向上を希望する22の自治体(うち、サスカチュワン州3カ所、オンタリオ州19カ所)が関心表明を行った。この時点でNWMOは、既に関心表明を受け付けた自治体への対応や調査に注力するために関心表明の受け付けを中断した。

これら22自治体では、既存の文献情報に基づき、予め公表していた5項目の簡潔な基準で初期スクリーニングが行われた。NWMOは、初期スクリーニングの結果取りまとめに一つの自治体あたり約半年を費やしている。うち、スペリオール湖に面する1つの自治体(第1図の⑦)では潜在的に適する地層が存在する見込みが低いことから、サイト選定プロセスへの参加に至らなかった。

(2) 潜在的な適合性の予備的評価—第3段階

第3段階の調査にあたり、NWMOはプロセス参加自治体と協議して当初の調査計画を修正している。机上調査を行う第1フェーズ(1~2年)と、空中物理探査などの現地への立ち入り調査を行う第2フェーズ(3~4年)に分け、後期を実施する自治体を絞り込むことにした。自治体側からは、立地見通しが低いことを示唆する情報を早めに通知するよう要望が出された。また、第3段階での主要検討項目—①人間と環境に対する安全とセキュリ

ティ、②自治体の福祉、③自治体が今後もプロセスに残留できる見通し、④周辺地域を含めた福祉—が明確化された。

初期スクリーニングをパスした21自治体は、いずれも2014年末までに第3段階へ進む意思をNWMOに伝えているが、その意思決定までに要した期間は自治体によって様々である。また、第3段階に進んだ後で、第1フェーズの調査途上の情報によりプロセスからの撤退を議決した自治体も一つ(第1図の⑥)ある。

2015年5月時点では、サイト選定プロセスに9自治体が残っており、うち8自治体で第2フェーズ、1自治体で第1フェーズの調査が進められているところである。これまでの自治体の絞り込みでは、地質構造の不確実性や複雑さの度合いのほか、自治体内で関心を維持向上させるために必要な労力の見通し、周辺地域や先住民社会の参画見通しが考慮されている。

NWMOは、第1フェーズの調査が完了した自治体に対し、サイト選定プロセスへの貢献に感謝し、第2フェーズの継続いかによらず、それぞれ40万カナダドル(3,920万円、1カナダドル=98円で換算)を提供している。また、NWMOは、2014年2月に第3段階第2フェーズにおける自治体支援プログラムに関する協議文書を公表し、自治体が住民、近隣自治体、先住民と話し合いや学習支援、ファシリテータの雇用、自治体の長期ビジョン開発などに要する費用をNWMOが実費負担するとしている。

III. 英国における地層処分

グレートブリテン及び北アイルランド連合王国(英国)は、イングランド、北アイルランド、ウェールズ、スコットランドの各自治政府が統治しており、各々の政府が放射性廃棄物の安全な管理に対する責任を有する。現在の高レベル放射性廃棄物等の処分方針は、地層処分を行うとするイングランド、北アイルランド、ウェールズに対し、スコットランドは浅地層の施設でモニタリングしながら回収可能性を維持して管理する方針である。また、地層処分を行うとするウェールズもイングランドと北アイルランドとは若干の相違のある方針を持っている。

ここでは、英国の高レベル放射性廃棄物等のほとんどが存在するイングランドを中心として進められている、英国政府による地層処分のサイト選定に焦点をあて、これまでの経緯、現在のサイト選定プロセスの状況を解説する。

1. 地層処分が方針となるまでの経緯

1976年の王立環境汚染委員会第6次報告書「原子力と環境」(いわゆる「フラワー報告書」)において、原子力発電が産業として急速に拡大している状況から、高レベル放射性廃棄物の管理の解決策を模索する必要性が指摘さ



第1図 関心表面を行った自治体の位置(カナダ)
出典：諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について2015年版²⁾
(2015年5月時点の状況にあわせて一部修正)

れ、処分方法として地層処分、海洋底下処分などがあげられた。フラワー報告書に対する英国政府の考え方は、1977年の英国政府白書「原子力発電と環境」(Cmnd.6820)に示されているが、具体的には英国環境省(DOE)の予算により英国原子力公社(UKAEA)が中心となって地層処分などの研究開発が1975年から1981年まで実施された。

1981年に英国政府は政策変更を行い、処分に先立って50年間の長期間貯蔵をすること、また、海外の研究開発プログラムに参画して開発の時勢に遅れないようにするという決定を行ったため、英国での研究開発は実質的に終了した。

英国政府の高レベル放射性廃棄物処分に係る政策は、1982年の英国政府白書「放射性廃棄物管理に関する報告書」(Cmnd.8607)において、ガラス固化された廃棄物は少なくとも50年間は地上に貯蔵されること、この期間が経過した後は発熱量と放射エネルギーが大幅に減少しているため処分も非常に簡素化されること、処分を遅らせるという技術上の利点があるとは言っても、貯蔵が処分の代替になるものではないとの考え方が示されている。また、処分に関する決定を将来の世代に委ねる際、賢明な最終的選択を行えるよう、現段階でのオプションを作成し、裏付けとなる科学的かつ技術的知識を蓄積する義務があることを指摘している。

1984年の「放射性廃棄物管理、国家戦略」においては、ガラス固化された廃棄物は少なくとも50年間貯蔵することを意図しているが、最終処分方策をサポートするための科学的知見を蓄積するための研究が継続されること、地層処分は既に原則的に実現可能なものとして確立しているとした。

1995年の英国政府白書「放射性廃棄物管理政策レビュー最終的結論」(Cmnd.2919)においては、ガラス固化体は冷却を考慮して貯蔵するという政策を再確認したが、最終的な管理方策を検討するもっと積極的な措置を講じるべきとの考え方を示している。また、地層処分は国際的にかなりの研究が行われており、廃棄物を冷却した後は地層処分が長期的には好ましい選択肢との見解を示している。

以上のように、英国では処分方針が決定しない状態が続いていたが、2006年の放射性廃棄物管理委員会(CoRWM)の最終報告書での地層処分を行うこと、地層処分の実現までの時間を考慮して確固たる中間貯蔵計画を維持すること、サイト選定への地域の関与は主体的参加の原則に基づくべきなどの勧告を受け、2008年6月に英国政府白書「放射性廃棄物の安全な管理－地層処分の実施に向けた枠組み(Cm 7386)」(以下、「2008年英国政府白書」という)を策定し、地層処分場のサイト選定を開始した²⁾。

2. 2008年英国政府白書によるサイト選定

(1) 地層処分の対象廃棄物

英国の地層処分対象となる放射性廃棄物は、高レベル放射性廃棄物等(Higher Activity Radioactive Waste)と総称されている。これには以下の廃棄物が含まれており、処分の実施主体である原子力廃止措置機関(NDA)は処分量を約50万m³と見積っている。

- ・高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)
- ・中レベル放射性廃棄物
- ・長寿命核種を含む一部の低レベル放射性廃棄物
- ・使用済燃料
- ・プルトニウム
- ・ウラン

使用済燃料、プルトニウムおよびウランは、現在は廃棄物と見なされていないが、将来的に用途がないと決定された場合、地層処分することが考えられている。

(2) 地層処分の実施における役割など

2008年英国政府白書では、サイト選定プロセスでの最終的な責任は英国政府が持つこととなっているが、地層処分施設の立地は、地域の主体的参加原理、パートナーシップのアプローチが重視されている。地域社会の立地パートナーシップのメンバーには、地方自治体、地域の国会議員、地域の公共事業(消防、警察、保健所など)、地域住民または住民グループ、広域の地元関係者、実施主体などの組織の代表が含まれると想定されている。サイト選定プロセスへの参加を正式に決定した後、地域社会の立地パートナーシップを設置し、その役割は、意思決定機関への助言・勧告、諮問機関、情報提供、意見集約・対応などが考えられている。

(3) サイト選定プロセスを含めた処分の段階

2008年英国政府白書での処分の段階は6段階で構成されており、第1段階から第3段階までが正式なサイト選定プロセスへの決定の段階、第4段階から第6段階までがサイト選定のための調査に相当する。第6段階では、地下調査施設の建設を伴う調査が実施されるが、規

第2表 サイト選定プロセス(2008年英国政府白書)

段階	実施内容
第1段階	関心表明(地域社会が政府となんらの義務を負わないで協議)
第2段階	不適合地域の初期スクリーニング
第3段階	参加決定をするために地域社会での検討(関連地域での議会投票など)
第4段階	参加地域での机上調査
第5段階	優先すべきサイトを特定するための候補サイトに関する地上からの調査(この段階までは地元撤退権がある)
第6段階	地下での活動(調査・建設)

制機関から許認可を得ることが前提となっている。

(4) サイト選定基準

2008年英国政府白書においては、サイト選定の第2段階での初期スクリーニングに適用する基準が規定されている。主として資源に関連する事項が基準となっており、関心表明を行った地域をスクリーニングするため、英国地質調査所(BGS)が使用することが想定されている。

(5) カンブリア州での実際のサイト選定の経過

2008年英国政府白書によるサイト選定プロセスでは、以下の自治体が関心表明を英国政府に提出した。また、2010年10月には、BGSによる初期スクリーニングの結果として除外すべき地域が公表された。

- ・2008年7月：カンブリア州コーブランド市
- ・2008年12月：カンブリア州
- ・2009年1月：カンブリア州アラデル市

関心表明を行った3自治体は自主的にパートナーシップを組織して検討を行い、2012年8月に最終報告書を取りまとめたが、①自治体の撤退権の法的な裏付け、②自治体の利益のパッケージ(地域共生策)、③自治体が独自に検討する事項への英国政府から資金の3点が不明確であること、資源のみで除外されているために地層処分場として適切性の不確実性があることから、2012年10月を予定していた参加決定の判断を2013年1月まで延期した。

2013年1月に、サイト選定プロセスへの正式な参加の是非を問う投票を3自治体の議会が行い、その結果、2市が賛成多数であったものの、カンブリア州議会が反対多数となったため、プロセスからの撤退が決定された。

以上のような議決を受け、英国政府のエネルギー・気候変動省(DECC)の大臣は2013年1月31日付で声明を出し、カンブリア州でのサイト選定プロセスは終了すること、地域の主体的参加原理およびパートナーシップのアプローチを維持すること、数億ポンド規模に相当する利益のパッケージの提供を確約すること、サイト選定プロセスの詳細の改善策を検討するとした。

3. 2014年英国政府白書による検討状況

エネルギー・気候変動省(DECC)は、2014年7月24日に、新たなサイト選定プロセス等を示した英国政府白書「地層処分の実施－高レベル放射性廃棄物等の長期管理に向けた枠組み」(以下、「2014年英国政府白書」という)³⁾を公表し、大きく2段階でのサイト選定プロセスを行うこととなった。

まず第1段階(2014～2016年)においては、英国政府及び実施主体による準備活動を行うとして、以下の事項が実施内容として記されている。

- ・スコットランドを除く英国全土を対象とした「地質

学的スクリーニング」の実施

- ・「2008年計画法」を改正し、地層処分施設を「国家的に重要な社会基盤プロジェクト(NSIP)」と定義
 - ・自治体との協働プロセスの具体的な策定
- 第2段階(2016年以降の15～20年間)においては、関心表明した自治体と実施主体との正式な協議を行うとして、以下のような考え方が示されている。
- ・自治体が処分施設の設置についての住民の支持を調査・確認するまで、いつでも撤退できる。
 - ・いかなる自治体も他の自治体のサイト選定プロセスへの参加を妨げることはできない。

IV. おわりに

今回解説したカナダおよび英国では、公募・関心表明を基本としたサイト選定が行われている。カナダの公募方式からは、地元要望を加味できる専門技術センターの共同開発を糸口として、プロジェクト全体の知識を深める希望をつのり、地元との関係構築をスタートさせようとの工夫や配慮がくみ取れる。

また、英国は、カンブリア州でのサイト選定の失敗を受けて新たな英国政府白書が出されているが、2年間の準備期間での地質学的スクリーニングの実施、自治体との協働プロセスの策定など、わが国としても興味深い取組が行われており、注目すべきものと考えられる。

－ 参考資料 －

- 1) Nuclear Waste Management Organization (NWMO), Moving Forward Together: Process for Selecting a Site for Canada's Deep Geological Repository for Used Nuclear Fuel (May 2010).
- 2) 資源エネルギー庁, 諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について 2015年版, 2015年2月.
- 3) Department of Energy and Climate Change (DECC), Implementing Geological Disposal-A Framework for the long-term management of higher activity radioactive waste (July 2014).

著者紹介

佐原 聡 (さはら・さとし)

原子力環境整備促進・資金管理センター
(専門分野/関心分野)原子力工学/放射性
廃棄物の処分



稲垣裕亮 (いながき・ゆうすけ)

原子力環境整備促進・資金管理センター
(専門分野/関心分野)原子力工学/放射性
廃棄物の処分



知の連携や協働へ向けて 学会誌 3 月特集号の論点整理

佐田 務

科学技術をめぐる知は専門化し、細分化される。原子力分野でも同様だ。それらの知が完全に統合されることはない。そこからこぼれ落ちた部分が弱点として残り、時を経てそれが事故の遠因として顕在化することがある。福島原発事故後にいくつかの事故調報告は、原子力の安全をめぐる学連携や協働によって知の統合をめざす必要性を指摘した。そのために私たちに、何をすることが求められているのだろうか。本誌 3 月号に掲載した福島原発事故に対する各学会の取組みや指摘された論点の中から、「知の統合」をめざすことが求められている部分のあらましを、ここでは紹介する。

KEYWORDS: *integration and fragmentation of knowledge, nuclear disaster, interdisciplinary, academic societies, science for society*

統合知から漏れた部分が弱点として残った

科学は進歩するために専門化し、同時に細分化してきた。近年になるとそれをめぐる知はさらに膨大になり、それらを統合することはますます難しくなっている。それは一つの宿命ともいえる。

科学技術の一分野である原子力も、その例外ではない。原子力をめぐるさまざまな学が細分化し、さらに原子力を担う人材は所属組織内で縦割り化される。もちろん、各組織や部署間では連携が図られるが、原子力をめぐる知が完全に統合されることはない。その結果として、統合知から漏れた部分が弱点として残る。

福島原発事故が起こった後に、政府事故調は下記のような指摘をした。

〈専門職掌別の縦割り組織の問題点〉

東京電力は、原子力災害に組織的・一体的に対処するため…緊急時対策本部等の組織化を図り、その中に発電班、復旧班、技術班等の機能班を設けている。しかし、これらの機能班は、与えられた所掌をこなすことには尽力するが、事態を見渡して総合的に捉え、その中に自らの班の役割を位置付け、必要な支援業務を行うといった視点が不足していた。

東京電力の社員は、他事業者と同様に、ふだんから自他を「運転屋」「安全屋」「電気屋」「機械屋」などと専門分野ごとに区別し、役割が細分化している。…このよ

うな人材によって組織が構成されれば、一人一人の視野が狭くなり、平時には問題なく組織が動いているように見えても、今回のような緊急事態時には、そうした組織の持つ弱点が顕在化してしまう。(p.403)

上記は東電社員において役割が細分化されていたために、緊急時対応に脆弱性があったという指摘である。これは東電だけでなく、広く原子力界全般にもあてはまる。福島原発事故では地震や津波をめぐる学連携や協働の不十分さが、事故の遠因の一つとなった。

この点について学会事故調は、津波対策や過酷事故に関する研究の成果が、福島原発での対策に反映されなかった理由として、過酷事故が起こりえないとする予断や慢心、あるいは謙虚さの不足などとともに、「研究の専門分化の弊害」や「研究組織の縦割り」をあげた(p.342-343)。

また、専門家が「自ら狭い専門に閉じこもることでシステムにおける安全に見落としが生じた」として専門家の認識に限界があったこと、「俯瞰的な視点を有する人材および組織運営基盤が形成されていなかった」(p.355-356)ことをあげ、「原子力安全に関する他のアカデミアを含めた俯瞰的な討論と協働のための「場」を構築するとともに、(学会はそのために)主導的な役割を果たさなければならない」(p.342-343)と述べた。

一方、日本学術会議は 2011 年 8 月の提言「社会のための学術としての「知の統合」-その具現に向けて-」で、「もし、社会的要請に応じることのできる『知の統合』の

Challenges to integrate valuable knowledge; Discussion paper on special feature of Journal of AESJ Vol.57: Tsutomu Sata.

(2015 年 6 月 19 日 受理)

仕組みが実現されていたならば、例えば、2011年3月11日に発生した東日本大震災時の大規模地震と大津波、原子力発電所の大事故、風評被害といった複合的な大災害に対して、科学者は、その予防あるいは解決のために必要とされる知を総動員し、それらを効率的に組み合わせることで社会的な要請の解決に必要な知識を十分に提供することができていたであろう」と述べた。

その上で、「異分野の知を統合することができれば、単独の分野のみでは考えるに及ばなかった状況を想定することができ、想定外の状況をあらかじめ極限まで排除した設計が可能となる。その意味からも、人類や社会の抱える複雑な問題の俯瞰的な解決を可能とする『知の統合』を実現するための『新たな挑戦』が、いま強く求められている」(p.1~2)と述べている。

これらの報告では、原子力の安全あるいは原子力全般をめぐる「知」については連携や協働によってその統合をめざすべきであると指摘されている。その前提となるものごとの俯瞰のためには、他者の声を聞く謙虚さと視界を広げようとする強靱な意思が必須だ。問題はそれが今は、十分反映されているかどうか、少なくとも反映へ向けた道筋の中にあるかどうかということにある。

学会の対応

これらの指摘に沿って原子力学会は、地震や津波などのリスク評価に関して他学会との連携や協働に取り組みはじめ、「断層の活動性と工学的なリスク評価調査専門委員会」などを設置した。また、日本地震工学会や土木学会など8学会合同で、東日本大震災合同調査報告書を発行した。原子力学会誌では今年3月号で、各学会による福島原発事故対応の特集を掲載した。学会はこれ以外にも、さまざまな形で他の学協会との連携や協働に取り組み始めている。

これらは、学会事故調が指摘した「原子力安全に関する他のアカデミアを含めた俯瞰的な討論と協働のための「場」を構築するとともに、主導的な役割を果たさなければならない」と指摘した取組みの最初の段階にあたる。その上で私たちには今後、これらの取組みをいかに発展させ、具体化していくかが問われている。

ここでは、その方策の一つとして、学会誌3月特集号で示された各学会の論点の中から、知の連携や協働に関連した箇所のうち、これから果たすべきことがより求められている部分の要約を紹介する。なお、このまとめの文責は本誌編集委員会にある。

ハード面での対応

各学会からは福島第一原子力発電所事故への対応のうち、ハード面については廃炉、汚染水、放射性物質の環境動態、地震・津波・火山などに対する対策の現状や課題が指摘された。

このうち廃炉対策では日本コンクリート学会が、1F廃炉に伴って出る低汚染のコンクリートを再利用する方法を提案。汚染水対策では日本海水学会と化学工学会が、汚染水の処理について関連知見があることと、日頃から関係学会の連携体制を検討しておく必要を提起した。

凍土壁については現状の方式に異論が出た。日本コンクリート学会は原子炉建屋周りのうち、山側の浸透水制御については「現在検討されている凍土壁よりも恒久的(約300年)な止水効果、冷却水の利用も視野に入ると、地中連続鉄筋コンクリート壁の構築が望ましい」と提案。地盤工学会は「重泥水という材料があり、この液体を狭い空間に満たせば、その重さによってガンマ線を遮蔽し、同時に大量に含む水分によって中性子線を防衛できます。…地盤の凍結も、難しい環境で水の流れを止める技術として発達してきましたが、どちらかといえば工事期間中だけの補助工法であり、セメント系の材料では処理しきれないときの最終的な技術と位置付けて、他との組み合わせで利用するのがベスト」と述べている。

また、日本応用地質学会は、「避難区域における住民帰還の判断や帰還後の地下水利用に資する基礎的な情報としては、表層土壌の汚染や対象地域の“地下水の器”となっている花崗岩類の亀裂中の地下水の放射性物質の中長期的な影響を評価することが必要」だとし、それに取り組んでいる状況を紹介している。

放射性物質の環境動態については、日本水産学会、日本地球惑星科学連合会(2015年4月号に掲載)、大気環境学会、海洋学会などが言及。日本水産学会は汚染水が水産業に与える影響への強い懸念を示し、トータルな視点から水産業をめぐる状況を改善していくことを提案した。大気環境学会や日本地球惑星科学連合会は他機関や他の学協会と連携して、放射性物質の環境動態やその影響について検討していることを紹介した。

地震や津波対策についても多くの学会が言及した。日本地震工学会(2015年6月号に掲載)は事故後、日本原子力学会と共同で「東日本大震災合同調査報告 原子力編」を刊行するとともに、調査委員会を設置して原子力発電所の津波に対する安全を確保するための工学的的方法論を体系化することをめざしていると記述。日本地質学会は、過去に「津波堆積物の解析に基づいて、…超巨大地震が大津波をもたらしていたことが報告されており、しかも津波の遡上域もほぼ正確に把握されていた。このような重要な地質学的知見が政策・産業・教育に活かされず震災が拡大したことを重く受け止める」と記載した。

土木学会は事故前に同学会の原子力土木委員会が発行した「原子力発電所の津波評価技術2002」に言及。「同委員会の活動やその成果については問題がないとしても、批判を受け易い閉鎖性があったことは否めない。そこで、同委員会の活動をより外部に開かれたものにし、活動の幅を広げるために、2013年6月から他学会の方々か

らも委員にお願いすることとしている」と紹介した。

日本地震学会は「観測網のデータに基づいて三陸沖での巨大地震の発生について懸念を示していた研究者もいたのであるが、こうした情報が国民には十分伝達されず、これらの情報に基づく被害想定や防災体制の強化の実現には至っていなかった。このような経緯もあって、地震の後、地震学会の内外で地震学や地震学会のありかたについていろいろな批判や議論が巻き起こってきた」と記載。「重要な課題について常に議論できる場や機会を設けること、地震・津波防災に関する他学会との連携や国家プロジェクトに関する議論の場の提供」などに取り組んでおり、「他学会との連携の強化…(については)既に日本地震工学会などとは共同企画なども実施しているが、原子力発電に関連する事案についても、関係する学会と共同企画などができるとよい」と述べている。

ソフト面での対応

福島原発事故直後の政府や東電などによる対応は、混乱をきわめた。このため各学会からは、クライシスマネジメントや今後に向けた協働・連携についての提案が数多くなされた。さらには将来を見据えたリスクマネジメントについて言及するものもあった。

事故後の情報通信システムの不全を真っ向からとらえたのが、電子情報通信学会だ。同学会は「情報通信システムは災害や故障に備えて予備システムや予備ルートを持つように設計されているが、東日本大震災のような広範囲な災害に対しては、予備システム自体も罹災して故障した場合も多く、また正常時の需要に対して構築されたシステムは、災害時の急激な需要増に耐えられない…事態が多発した」と記載。「今回の災害時における反省を基に、今後どのような通信技術を開発すべきか…災害時には、どのような情報を優先して伝達すべきか、どの程度の品質まで許容できるか」について検討を進め、今後は「社会システムとしての要求を考慮しつつ、災害時における情報伝達を行う新しい情報通信ネットワークを検討することが大きな課題となる」としている。

日本航空宇宙学会も、クライシスマネジメントに言及。「震災後、広域に渡る被害の把握に困難を極めた。ゆえに、広域・常統的に観測可能な人工衛星、詳細・即時的運用が可能な有人航空機、長時間・常統的に情報収集可能な無人航空機を組み合わせた観測、情報伝達、共有システムを構築する必要がある。また、得られた大局的な情報を有効活用するために関係機関(防災機関等)を含めた情報共有の枠組みを構築しなければならない」と指摘した。

日本気象学会からは、原子力規制委員会によるSPEEDIの現状の取扱いについて異論が出た。「福島事故の場合、漏洩した放射性物質の量が不明なので予測は信頼できないという意見が多く聞かれた」ものの、「予測

情報は、放射性物質の相対的な時空間分布を事前を知る事ができ、不確実性に配慮しつつ利用すれば、退避や防護措置の検討に有効だと考える」とし、「原子力関連施設の事故に伴う放射性物質の大気拡散監視・予測技術の強化に関する提言」を公表した。さらに同学会では、放射性物質の大気拡散の数値モデルの再現・予測技術やモニタリングの過去・現在・未来、防災情報の公開・提供などについて検討していることを紹介した。

一方、日本物理学会は、事故直後の対応は「内閣、原子力安全・保安院、東京電力など関係者によって東京電力の『工程表』に沿って閉鎖的になされた。広く学会が関与してほしいという要請はなく、一方、自主的に協力するにも、よすがとなる情報はほとんど公開されなかった」と指摘。今後の対応については各学会の連携に言及し、「今回の大きな原発事故の収束には、今からでも何らかの形でオールジャパンの科学者・技術者が協力する仕組みが必要ではないだろうか。…他の学問の立場からも分析することで良いアイデアが生まれてくる可能性がある」と述べている。

従来から横断型基幹科学技術研究団体連合(横幹連合)などの分野横断的な連携に積極的に取り組んできているのが、計測自動制御学会だ。同学会は産業システムやプラントの安全については「計測・制御・システムの視点」から「事故・災害に対する社会安全」を実現するための方法論体系化に向けて、社会インフラ・産業設備などの重大事故における操業・保守のあり方を、産業界の事故や災害の教訓に基づく帰納法的アプローチと、学界の理論に基づく演繹的アプローチの両面から検討している。また、社会安全に関するより広い範囲の脅威の防止を行う観点から、「制御系のセキュリティ対策を行う制御システムセキュリティセンターの活動の支援」や「自動車などの消費者機械の機能安全の確保を目的として、情報処理推進機構とともに国際標準化活動の推進」を行っている。

社会にひそむリスクを長期的な視点から見据えているのが、日本リスク研究学会である。同学会は「想定外」、特に低頻度巨大複合リスク事象に対する学際的リスク分析のあり方に言及。「震災後のわが国の社会において、10年後、30年後を見据えた時にさらに、どのような新たなリスクが起りうるかについて、…わが国の将来のリスクシナリオを明らかに」するとして、将来を見据えたリスクマネジメントやガバナンスに取り組んでいることを記載している。

知の統合—他の学協会などとの連携や協働

各学会からはこれまでに述べてきたように、他のアカデミアやアクターとの連携・協働を呼びかける数多くの提案がなされてきた。ここからは、この問題の構造的な側面にまで言及したものを紹介していく。

連携や協働の問題について、社会技術の視点からとら

えたのが日本エネルギー学会だ。同学会は「これからのエネルギーシステムを社会実装するためには科学技術のみならず、市民合意や地域主体形成などの社会技術が重要となる。エネルギー問題を解決しつつ地域の活性化や暮らしやすい持続型の街づくりを進めるためには、…企業、行政、市民団体、大学など様々なステークホルダーが同じ目標に向かって一体化することが最も重要であり、中立な立場の大学や学会が核になることによって地域社会のソーシャル・キャピタルの形成・強化が可能となる」と述べた。

復興の視点から、知の動員を呼びかけたのが、社会政策学会である。同学会は「大災害からの復興プロセスには、人の生きる力や生活への主導権の再獲得を支える社会政策が組み込まれなければならない、直接的な生活・生業保障と一体となった自律的なコミュニティ再生や地域の将来選択への条件づくりが復興の基本に据えられなければならない。復興過程を検証し、学術的に分析・記録するとともに、被災者・被災地の創造的再生に向け科学的な支援を行っていくことが求められている。そこで、社会政策学会の多様な専門知見を広く集め、国際的にも通用力ある震災復興に関する社会政策の理論蓄積とその公開、ならびに公論形成に努める」と記載している。

文理融合あるいは知の統合の問題を見据えているのが科学社会学会である。同学会の関連部分を引用する。

「社会学は、あらゆる事柄を社会現象とみる。…(科学社会学会による福島原発事故に関わる研究では)原子力工学の研究者が通常探究する工学的な解からは『遠い』要因が取り上げられ、かつ一見『遠い』要因がじつは工学的な解の探究過程や問題そのものの解決と不可分である可能性を示唆している点だと思われる。科学技術と社会の関係が加速度的に複雑になっている現在、…そうした一見当該問題からみると『遠い』要因が当該問題に深くかわるようすを強靱な知性で吟味してどう受け止めきれぬかが、科学技術と社会の境界で発生する過酷事象に取り組む次世代の知的試みに求められると思う。

問題は、学際研究といった掛け声が久しく存在するにもかかわらず、こうした過去の研究の蓄積をもとにした事前の取り組みがまったく原子力工学界への社会的意味をもちえなかった点である。少数ながら、意味のある社会科学の知見がこのように存在するにもかかわらず、そうした知見を早期警報として生かすような制度的な回路は不在だった。すでに存在する知見とのあいだの参照不全は、しばしば引き合いに出される原子力工学と地震学、地質学とのあいだの参照不全にとどまらず、原子力工学と社会学のあいだでも生じていた可能性が高い。今後同じ誤りを繰り返さないためには、そういう参照不全をもって安定均衡とみなす意識や制度を一刻も早く変革することが肝要だ」

福島原発事故を「失敗学」の視点から、背景要因にまで

踏み込んで分析したのが失敗学会である。同学会は「失敗の原因は、直接原因を徹底的に解明するのも重要であるが、背景要因も徹底的に焙り出さねばならない。また、使用環境の変化は自然の脅威も含めており、それらに起因する事故も許されないと考えることである」とした。

その上で、「原子力産業の規制組織は、元々推進を担う省庁の中から派生した。規制は形骸化していた。反対派説得のための安全神話がいつの間にか事実として信じられるようになった。そのため、危険を示す解析を見せられても対応しなかった。国内外の事故例や警鐘を聞いても、『自分達は違う』と聞かなかった。他の原子力発電所では、十分な備えができていた所が多かった。これらの要因は原子力産業に限らず日本の傾向として、他の業界も自分達が重大事故を発生させる体質を抱えてないか」と述べ、構造的な要因のいくつかは今も解決されないままに放置されていると指摘した。

〈失敗知識の統合化を〉

さらに、これらの失敗知識の統合化を呼びかけたのが、政府事故調査委員会委員長を務めた畑村洋太郎氏である。同氏による関連記述の要約を示す。

「(1) 減災を考える 事故はあり得るものとして、事故が起こっても被害を最小にする『減災』という考え方が必要である。それまで経験したことがない形で新たな事故は起こり得るということを明言すべきである。その上でそれを前提に考え得る限りの防災策・減災策がとられているかどうかを審査すべきである。

(2) 知識の立体化 事故事実の解明だけでなく、『たられば・もし』のような仮説を立てて、実際とは異なる選択肢を採れば何が起こり得たか、失敗に至る経路や成功に至る経路を考え尽くし、知識の立体化を行うことが必要である。そこから防災および減災を実現する方策を学び取ることが可能になるからである。

(3) 事故の知識化の必要性 事故の具体的な事実や原因、背景要因などから本質を抽出し、知識化・抽象化することにより普遍的な知識を獲得しなければならない。こうして得られた知識に様々な具体的条件を付加することによって具象化すれば、未だ起こらない内に将来起こり得ることを予見することができ、その出来を防止したり有効な減災策を準備したりすることができる。福島事故で得られた知識から最上位の抽象概念を抽出すれば、その主なエッセンスは共有・想定・平時と有事の切替え・複合災害などである。例えば、事故対応に当たった人たちに価値・目的・全体像・役割等が共有されていなかったために事故が拡大していったと考えることができる。

(4) 他分野に学ぶ 原発よりも長い歴史のある技術分野や産業分野には、現在までに経験したトラブルや事故などの経験から得られた多くの知識が蓄積されている。その知識を積極的に取り入れることによって、原発の安全

性をより高めることができるはずである。また、外からの批判や提言に素直に耳を傾ける姿勢が必要である。

福島原発事故は全く終息していない。今でも継続しているのである。その最大の要因の一つは今回ここで述べたような事故に関する知の統合が行われ、共有されることが全く行われていないためである」

〈日本社会の制度に根底的な問題が〉

一方、国会事故調査委員長だった黒川清氏は、「同じ企業、組織でキャリアを過ごす終身雇用、年功序列などを基本とする『タテ社会』の原則が常識であり、これらを反映した社会のシステムが構築されてきた。雇用、年金、保険、退職金、大学新卒の新規採用、なかなかすまない男女共同参画などなどである。福島原発事故の物理化学的、技術的、工学的側面の原因分析は、この様な社会の構造と、多くの日本人に共有される社会制度と、これを常識と認識している『マインドセット』で統治され、運営されてきた日本社会の『氷山の一角』に過ぎないのだ。これを端的に表した例が『単線路線のエリート』、英文要約版にある『Made in Japan』などである。世界でも例外的な『かたくな』な『タテ社会』、部分最適しがちな日本社会の力学、さらに社会、組織でより大きな権限とそれに伴う『責任ある立場』の人たちがその責務を果たしてこなかった。このような社会制度が、いわゆる『グローバリゼーション』を受けて、揺らいでいるのであり、改革の圧力を受けて苦悩しているのが、この10数年の日本社会の根底にある」と指摘している。

〈現象の背後にある複数の「秩序」を読み解く〉

知の統合を「意味の秩序」から読み解いたのが、吉川弘之氏である。

「自然界には統一された秩序が存在するという『信念』がある。事実物理学においては、法則の間の関係の発見という努力を通じてその統合に成功してきたと考えられる。しかし、社会現象の背後の秩序は自然の秩序ではなく『意味の秩序』である。人工現象ではそれは『機能の秩序』である。これらが統一されるかどうかを判断するための知識という点では、科学研究はまだ幼い水準にいるとしか言えないであろう。

異なる秩序を背後に持つと考えられる諸現象は、独立に顕れるのではなく相互に関係しつつ現出する。例えば現在の地球的課題である地球温暖化は、人の行為と自然現象の関係において生じるものであり、その解決を志す環境研究は、その背後に複数の秩序がかかわるといって本質的に難しい課題を負っていることになる。これを解くためには、歴史的に何回も言われた第何回目かの科学革命の現代版を必要とすることになると思われる。知の総合とはこのようなことであろうが、これは原子力政策についての専門家の助言と関係する。

人々にとって関心があるリスクとは、事故の生起確率と損害総額の大きさなどではなく、自分の、家族の、生命と生活の安全にかかわるリスクである。

今有効な原子力専門家と人々との対話とは、人々が原子力について個人として何をリスクと考えているかを原子力専門家が人々から教えてもらうための対話であると考えられる。その対話を通じて原子力専門家が得たものが、行動者への助言を豊かなものにするのが期待される。

専門家も信頼し、一方政治からも信頼される助言者、それは社会の利害から独立で、科学者の全意見を知って中庸な意見を述べる能力があり、どんな政策にも特別に組みすることのない、中立な科学者である。そして、このような科学者が探究する科学とは、錯綜する秩序から新しい知性を生み出し、それが未来の社会のあらゆる人が受け入れることのできる新しい秩序を生み出すものであることが期待される。

このような新しい専門家が緊急に求められているのが原子力分野なのであり、原子力専門家がこのような分野をデザインして実現に取り組むことをしてほしい」と、同氏は結ぶ。

〈統合知を凌駕する現実世界〉

また、編集後記で筆者(佐田)は知の統合について、下記(要約)のように言及した。

「科学は知の統合を試みている。しかし現実世界の広がりはその試みをはるかに凌駕している。原子力についても同様だ。そこでの専門家の多くは、自らが携わるところに限られた範囲の専門家でしかない。技術面はもとより、社会的側面を含めた原子力をめぐる状況の全貌について語る事ができる専門家は、実はどこにもいない。ましてや、科学技術全体についてはなおさらのことだ。今の社会は、そのような統合知とはかけ離れた科学の成果に、私たちの生活が依存する程度はますます、増大している。福島原発事故は、そのことを私たちに想起させる一つの契機ではなかったか」

* * *

原子力学会誌では今年3月号で、各学会による福島原発事故対応の特集を掲載した。これは、統合知をめざした「ささやかな」取組みとして企画したものである。めざす射程は途方もなく広く、一方で私たちの知は狭小なものでしかない。それを繰り返すに終わらせないための意思と意欲とが、私たちには問われていると思う。

著者紹介

佐田 務 (さた・つとむ)

日本原子力研究開発機構勤務、本誌編集長。専門は社会学。

可搬型高エネルギーライナック X 線源による産業・社会インフラ診断 原子力技術の新しい社会貢献

東京大学 土橋 克広, 上坂 充, 産業技術総合研究所 藤原 健

X バンド (9.3GHz) の高周波電子線形加速器(ライナック)技術を最適化し, 可搬型 950keV/3.95MeV 電子ライナック X 線源を開発した。950keV システムは, 化学プラントの反応塔・配管, 橋梁・栈橋の鉄筋コンクリートの構造健全性診断に実用されている。内部構造の静止画取得に加えて, 液面の動画像の取得にも成功し, システムの動特性評価に進展している。一方, 土木研究所, 国土技術政策総合研究所にて老朽実機橋梁試料を用いた試験が開始されている。3.95MeV システムは平成 17 年度放射線障害防止法改定(橋梁検査に限って 4MeV 未満その場使用可能)後初めての適用となる。平成 27 年中に実橋梁試験を開始する。今後さらに現場経験を蓄積・システム向上させ, 世界の成熟社会での産業・社会インフラの健全性評価・安全性向上に貢献していきたい。

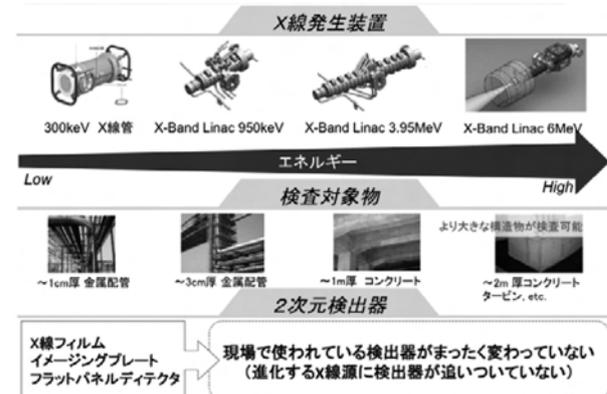
KEYWORDS: *portable high energy, X-band electron linac, 950keV, 3.95MeV, nondestructive testing, industrial infrastructure, social infrastructure, bridge*

I. はじめに

X 線による非破壊検査は工業用, 産業用(原子力発電所も含む)で広く行われており, 医療診断用よりも比較的高いエネルギーの X 線が使用されている。現在では, 管電圧 300kV や 450kV の X 線管も運用されている。しかし, 橋梁や化学プラント等の配管等の大型構造物に対しては, これまでの X 線管のエネルギーでは不十分であり, これら大型構造物の X 線による非破壊検査は困難であると考えられてきた。我々は, 可搬型の電子線形加速器(Linear accelerator: Linac, リニアック, ライナック)ベースの高エネルギー X 線発生装置を用いた産業インフラや社会インフラの診断の実用化を目指している。本稿では, 従来の X 線管よりも高エネルギーの X 線を発生でき, かつ可搬型とした 9.3GHz X バンドライナックベースの高エネルギー X 線発生装置(非破壊検査装置)の実用化に向けた開発や試験の状況について紹介する。X 線を用いた非破壊検査の原理は基本的に医用イメージングと同じであり, 違うのは検査対象物の厚み

と X 線のエネルギーである。第 1 図で示すように, 我々は従来の X 線管よりも高いエネルギーの X 線が発生可能な小型の電子加速器を開発してきており¹⁾, 実際にこれまで 950keV, 3.95MeV, 6MeV の可搬型の電子加速器の開発に成功している。このように発生する X 線のエネルギーが高くなるに伴い, 検査対象物も 1cm 厚の配管から, 3cm 厚の配管, 1m 厚のコンクリートまで広げることが可能になる。

しかし, 進化する X 線源に対し, X 線を可視化する検出器の方は依然, 従来と同じものが使われており, 高エネルギー X 線発生装置の性能を十分に活かしきれていないのも現状である。



第 1 図 X 線源と検査対象物, 検出器の関係

On-site inspection of industrial and social infrastructures by portable high energy linac X-ray sources - new social contribution of nuclear technology - : Katsuhiko Dobashi, Mitsuru Uesaka, Takeshi Fujiwara

(2015 年 5 月 13 日 受理)

II. 可搬型高エネルギー X 線源

1. 9.3GHz X バンドライナック

一般に X 線非破壊検査では、X 線管により発生される制動輻射 X 線(及び特性 X 線)が用いられる。X 線管は陰極と陽極との間に高電圧を印加し、陰極と陽極の間に発生した静電場にて電子を加速し、ターゲット(標的)に入射することにより制動輻射 X 線や特性 X 線を得るものである。陰極と陽極に高電圧を印加する必要があるが、電気絶縁耐圧が問題となり高電圧化が難しい。

一部では電子線形加速器(Linear accelerator: Linac, リニアック, ライナック)ベースの高エネルギー X 線システムが存在し、運搬可能な大型構造物(発電用の蒸気タービン等)の検査にも用いられている。電子線形加速器は、電子線を高周波空洞(加速管)に送られた高周波(RF)の電界により加速するものである。RF による電子線の加速は従来の X 線管等と異なり、高い静電圧は必要なく高エネルギーの電子線(及び X 線)を得ることが出来るという長所がある。電子線加速器は、電子銃と加速管に RF を供給する RF 源からなり、RF 源としてはマグネトロンやクライストロンが用いられることが多い。マグネトロンやクライストロンを駆動する高圧電源は必要であるが、駆動電圧自体が発生される X 線のエネルギーに直接影響する訳ではない。しかし、X 線管と比較して構造が複雑であり、運転も難易度が高い。このような X 線源は価格もさることながら、設置場所から移動させての使用は法的にも構造的にも困難であるため、屋外にてプラント等の検査に用いることは事実上不可能と考えられていた。

上述の電子線形加速器では、従来は高周波(RF)として S バンド(2~3GHz)と呼ばれる周波数帯が用いられることが多かった。これは歴史的な理由もあるが、加速管の加工精度等の要因もある。しかし、S バンド電子線形加速器は比較的大きく、可搬型とするのは困難である。小型化するためには高周波の周波数を高くすることになる。これは、単純に周波数が上がれば波長が短くなる波動の性質による。周波数を 4 倍にすれば、高周波電界(電場)の波長は 4 分の 1 になり、加速空洞の径は 4 分の 1 となる。単純に考えれば体積は 32 分の 1 となる(実際はそれほど単純ではない)。X バンド(8~12GHz)は、周波数が S バンドの 4 倍の周波数帯であり、本研究グループは 9.3GHz のマグネトロンを RF 源とした電子線形加速器ベースの X 線源の実用化を目指している。我々は、X バンド採用による小型化が可搬型高エネルギー X 線システムの実現に不可欠であり、総合的にも大きなアドバンテージであるとの考えから X バンドライナックを採用した。

2. 可搬型高出力 X 線システム

前述の通り、本研究グループでは、X バンドライナック

クを用いた可搬型高エネルギー X 線システムを開発し実用化に向けた試験を行っている。現在試験中の装置は 2 種類ある。ひとつは 9.3GHz, 250kW (peak) のマグネトロンを高周波源とし、最大 950keV, 50mGy/分@ 1m の制動輻射 X 線を発生できる 950keV X 線システムである。もうひとつは、9.3GHz, 1.5MW (peak) のマグネトロンを高周波源として使用した 3.95MeV X 線システムである。これは、3.95MeV, 2Gy/分@ 1m(1m 離れた地点での強度)の制動輻射 X 線を発生できる。いずれの装置も、利用線錘は 1m 先で直径 30cm となるよう、タングステン合金(ヘビーアロイ)製のターゲットコリメーターを具備している。

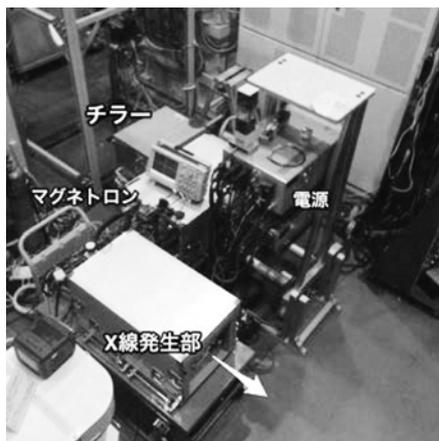
第 2 図に 950keV X 線システムの外観を示す。X 線発生装置は 2 個の白い筐体と 1 台の制御ラック(左奥のアラーム灯のあるラック)で構成されている。手前左の筐体は高周波(RF)源である 9.3GHz のマグネトロンを内蔵した「RF ユニット」であり、手前は加速管を内蔵した「X 線ヘッド」である。RF ユニットと X 線ヘッドはフレキシブル導波管で接続され、マグネトロンで発生した高周波を X 線ヘッド内の加速管へ送る。X 線ヘッド内には加速管が内蔵されている。950keV X 線発生装置の加速管の長さは 12.5cm である。電子銃については、陰極電圧は 20kV であるが、樹脂モールドとして絶縁を施すことにより小さな筐体内への設置を容易にしている。

制御ラックには、制御ユニット、マグネトロン駆動用の高圧電源、高圧電源制御ユニット等や冷却水装置(チラー)が収納されている。電源は単相 200V である。

第 3 図は 3.95MeV X 線発生装置の外観である。筐体は、手前の X 線ヘッド、中央右の制御ラック、制御ラックの左の RF ユニット、その奥にある冷却水装置の 4 個である。X 線ヘッドはターゲットコリメーターを具備しているが、この重量だけでも 80kg である。X 線ヘッドの重量は 100kg を超える程度であり、X 線ヘッドの質量の大部分はターゲットコリメーターが占める。今後 950keV X 線発生装置と同様に着脱可能とすることも検討している。RF ユニットも 950keV X 線発生装置に比べ大型化している。また、冷却水装置は別筐体となる。その他の構成は 950keV X 線発生装置とほぼ同様であ



第 2 図 950keV X 線システムの外観写真¹⁾



第3図 3.95MeV X線システムの外観¹⁾

る。電源については、実験室内では三相200Vを利用しているが、制御ラックに収納されている各モジュールは単相200Vで使用可能である。装置の総重量(4個の筐体の合計)は約400kgである。

本開発研究では、経済産業省・JST・国土交通省・土木研究所・国土技術総合研究所の支援を得て、加速器開発で(株)アキュセラ、非破壊検査利用で(株)日立パワーソリューション、三菱化学(株)、(株)関東技研、データ処理で(株)XIT、(株)AXION-JAPAN、法政大学の協力を得ている。

Ⅲ. 放射線発生装置の管理区域外での使用

950keV X線発生装置は、電子線エネルギー及びX線エネルギーが1MeV未満のため、放射線障害防止法ではX線源として取扱い管理区域外使用は可能で、安全管理は電離放射線障害防止規則に準ずる。特に放射線管理区域は1.3mSv/3monthsの空間線量限度で設定する。一方の3.95MeV X線発生装置は電子線及びX線のエネルギーが1MeV以上であり、放射線障害防止法にて放射線発生装置である。しかし平成17年放射線障害防止法改定時に橋梁検査に限って管理区域外使用が認められた。その場合、「一時的な使用場所の変更」の届を監督省庁(原子力規制庁)に提出することで、一時的に使用場所を変更して橋梁の非破壊検査に供することが出来る。橋梁の非破壊検査は屋外で行われるため、放射線発生装置を屋外で使用することになる。両システムの管理区域外の使用につき、上記すべての措置を完了させている。

Ⅳ. 950keVシステムによる産業・社会インフラその場透視試験

950keVシステムは、法的にはX線発生装置という扱いになるので、化学プラント等の産業インフラの非破壊検査に使用可能である。従来のX線管のエネルギー領域では撮像が困難であった厚肉配管等の非破壊検査が可能となることが期待されており、これまでに産業インフラでの非破壊検査実証試験を3回実施した。

最初の撮像試験は、平成24年5月の化学プラントの蒸留塔の地上高さ20m付近の透視画像の取得であり、厚さ100mmの鉄の内部の目皿の穴を確認することに成功した。

2回目の試験は民間の鉄筋コンクリート製埠頭の海面側の梁の鉄筋の径の計測であった。埠頭の海面側に設置された足場へ、分解したX線発生装置を人力で搬入し設置した。悪条件にも関わらず鉄筋の撮像に成功した。

3回目は1回目よりさらに高所の反応塔内部透視を実施、中の液体の動画像化にも成功した。

今後は各種プラントでの劣化事象の最も頻繁な回転機の内部インペラの同期画像のその場取得を行う。このように産業インフラその場透視は動画取得の段階に入った。(第4図)

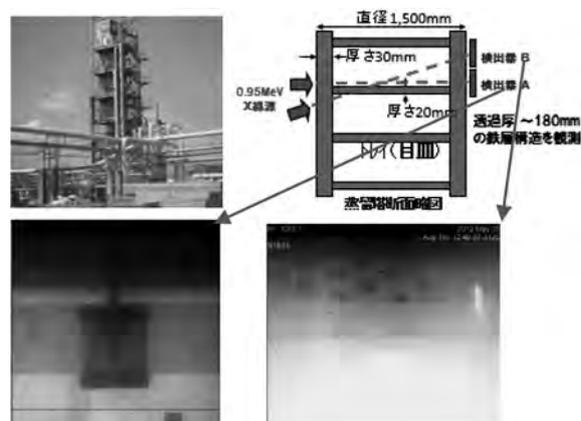
950keV X線システムではここまで国土技術政策総合研究所にて屋外に設置されている橋梁撤去材についての非破壊検査試験を5回実施した。

検出器としてPerkin Elmer社フラットパネルX線カメラ(GOSシンチレータ)、イメージングプレートを使用している。これらは数十keVのX線に感度のいい、基本的に医療用のもので、それ以上のエネルギーの非破壊検査用には必ずしも適していない。非破壊検査専用の高感度X線カメラの開発が今後の課題と言える。

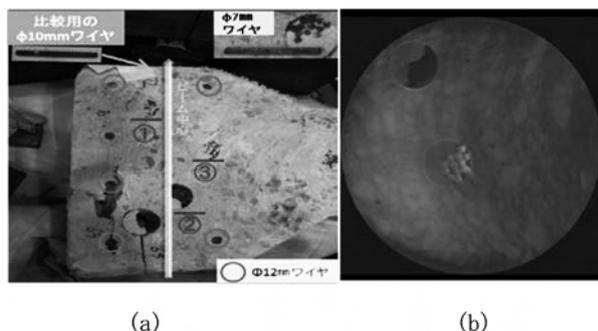
Ⅴ. 3.95MeVシステムによる社会インフラその場透視試験

1. PC橋梁試料の3.95MeVシステムによる3次元CT

コンクリート構造物は、いわゆる鉄筋コンクリート(RC)とプレストレストコンクリート(PC)がある。プレストレストコンクリートとは、コンクリート内部の鋼材(PC鋼材)にあらかじめ張力を掛けた状態で製造されたコンクリート構造物であり、構造物に対する張力をPC鋼材により受けるものである。このPC鋼材の強度劣化の定量的な測定の実現が望まれている。PC鋼材においては、その有効断面積が強度に影響すると考えられ、径



第4図 化学プラント反応塔の内部透視検査¹⁾



第5図 3.95MeV X線源によるPC材の3次元CT結果^{1,2)}
 (a)切り出しPC材断面写真(上下方向厚さ40mm)
 (b)2次元断層図。中央のパイプの中の7mmの鉄ワイヤすべてが良く見える。左上の黒い部分はワイヤが抜け落ちた空孔

または断面積の測定が望まれる。PC鋼材は直径7mmのワイヤを複数束ねて金属製スリーブに入れたものであり、ワイヤの部分断裂を確認できるだけでも検査として有効であると言われている。第5図にPC橋の下部橋桁部から切り出されたPC橋梁の下フランジ部分の写真と3.95MeVシステムによるCT結果を示す。400kV X線管では400mm厚さ部の透視に1時間程度要していたが、本システムでは約1秒で撮像可能である。そのためCTスキャンによる内部の可視化も可能となる。ラボでの実験では実際に橋梁から切り出したコンクリート片の中の直径7mmのワイヤの3次元像を空間分解能1mm以下で明確に可視化することに成功している。

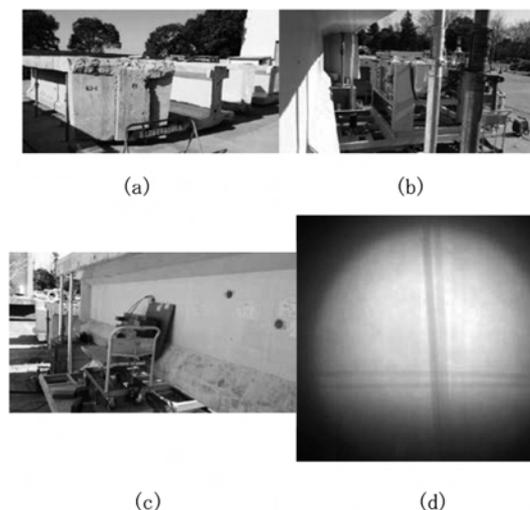
勿論、実際の橋梁現場で360° CTスキャンは不可能であるため、我々は部分角度CTの実験室試験を実施して、現場に適用することを検討している。並行して、tomosynthesis再構成(内部1点中心にX線源を回転して透過像を複数撮り、その中心を基準に重ね合わせその点周辺を強調する手法。その点をずらすことで3次元画像化も可能)の検討も行っている。

2. 日本初の3.95MeV X線源の管理区域外使用

平成27年1月29日土木研究所にて、橋梁から切り出した試料を対象にした、3.95MeV X線源を用いた管理区域外でのX線非破壊検査を日本で初めて実施した。1月29日は土木研究所にて橋の切り出し試料のX線検査を行った。1日で機器運搬、現場設置、放射線管理体系設置、測定、放射線計測、撤収を首尾よく9~17時以内に完了した。400mmを超える肉厚のPC橋梁の撤去部材を数秒程度で撮像することに成功した。ウェブ部分(150mm)と同様に、診断が難しいとされている下フランジ部分(400mm)も、内部に配置されている鉄筋の透視像が得られた。今後、うき、空洞、グラウト等のコンクリートの欠陥等も評価していく。

VI. まとめ

小型のXバンドライナックを採用することにより、可搬型の高エネルギー・高出力X線発生装置を実現で



第6図 日本初の3.95MeV電子ライナックX線源の管理区域外橋梁透視試験(土木研究所)
 (a)橋梁切り出し試料, (b)X線源ボックスと高周波源ボックス, (c)X線フラットパネルカメラ, (d)フランジ部(厚さ400mm, 測定時間30s)

きる。これにより、これまでは困難とされてきた産業インフラや社会インフラへのX線非破壊検査の適用が可能になった。今後はこれまでの成果を基に、さらにX線発生装置の改良を行い、非破壊検査の現場での運用性を向上させていく。また、産業インフラや、3.95MeV X線発生装置の使用実績を積み重ねていき、本年中に実橋による実証試験を開始する。このように現場での実証試験を積み重ねていき、X線源・検出・駆動・信号処理のシステムの改良に取り組み、新しい原子力の社会貢献の実績として発信していきたい。

— 参考資料 —

- 1) Mitsuru Uesaka, et al., J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 47 (2014) 234008 (9pp).
- 2) Mitsuru Uesaka, et al., E-Journal of Advanced Maintenance, Vol.5, No.2 (2013) p.93-100.

著者紹介



土橋克広 (とばし・かつひろ)
 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻
 (専門分野/関心分野)加速器理工学, ビーム物理



上坂 充 (うえさか・みつる)
 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻
 (専門分野/関心分野)量子ビーム工学, 原子力構造工学



藤原 健 (ふじわら・たけし)
 産業技術総合研究所
 (専門分野/関心分野)放射線計測, 放射線イメージング



福島県における中間貯蔵施設輸送計画の論点 ～交通計画を専門とする立場から～

福島大学 吉田 樹

福島県における中間貯蔵施設は、除染により生じた除去土壌等を最終処分するまでの間、集中的に保管する施設である。2015年3月からは、県内の仮置場から敷地内の保管場までのパイロット輸送が開始されたが、本格輸送では最大2,200万 m^3 にもなる大量の除去土壌等を県内各地に分散した仮置場等から運び込まなければならず、円滑かつ安全な輸送がクリティカルな課題となっている。本稿では、中間貯蔵施設への輸送計画に関わる論点を交通計画の視点で整理する。

KEYWORDS: *Interim storage facility, Transport issues, Fukushima Prefecture*

I. はじめに

福島県大熊町と双葉町に建設される中間貯蔵施設は、県内の除染等により生じた除去土壌や廃棄物を最終処分するまでの間(搬入開始から30年間)、それらを集中的に管理・保管する施設である。東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、原発事故)では放射性物質による汚染が原発敷地外にも広域に拡散し、その影響を速やかに低減することが課題である。こうした状況を受け、2011年8月には「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」が公布・施行され、除染や放射性物質に汚染された廃棄物の処理が進められてきた。

しかし、福島県内では、除染により生じる除去土壌や廃棄物の量が最大で2,200万 m^3 (減容化処理後)と膨大になると推計され、これらを最終処分するまでの間、安全かつ集中的に管理・保管する施設として、中間貯蔵施設の設置が検討された。その結果、2014年9月には、佐藤雄平福島県知事(当時)が建設受入を表明するに至ったが、県内各地に分散する仮置場等から膨大な除去土壌等を輸送しなければならず、大量輸送を安全かつ円滑に実施する方策が不可欠である。そこで本稿では、福島県内に建設される中間貯蔵施設の輸送計画の論点や課題について、交通計画を専門とする立場から整理する。

なお本稿は、日本都市計画学会に掲載された筆者の報文¹⁾を2015年5月下旬時点の状況に基づき再構成したものである。

II. 中間貯蔵施設の概要とこれまでの経過

中間貯蔵施設は、土壌や廃棄物の貯蔵施設、受入・分別施設、減容化施設のほか、スクリーニング施設、研究等施設や情報公開センター等で構成される。おもに仮置場(中間貯蔵施設に運ばれるまでの一時保管場所)等に保管されている除染に伴う除去土壌や廃棄物が搬入され、8,000Bq/kg以下の土壌等が約1,006万 m^3 、8,000Bq/kg超10万Bq/kg以下では1,035万 m^3 、10万Bq/kg超の土壌等は約1万 m^3 それぞれ発生すると推計されている²⁾。このほか除染廃棄物の焼却灰(約155万 m^3)や対策地域内(放射性物質汚染対処特措法に基づき指定された福島県内11市町村)で発生した10万Bq/kg超の廃棄物の焼却灰(約2万 m^3)も中間貯蔵施設に搬入される予定である。

第1表は、中間貯蔵施設の設置をめぐる経過を整理したものである。2011年10月29日に環境省が示した「東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質による環境汚染の対処において必要な中間貯蔵施設等の基本的考え方について」³⁾では、国が施設の確保や維持管理を行い、2015年1月を目途に施設の供用を開始するよう努め、中間貯蔵開始後30年以内に、福島県外で最終処分を完了することが明記された。これを受け、佐藤雄平福島県知事(当時)は、ボーリング調査を含む事前調査の受入を表明し、中間貯蔵施設の安全性を検討することを目的として、専門家会議を設置した。

環境省は当初、大熊、双葉、楢葉の各町に中間貯蔵施設を設置する計画であったが、2014年2月に佐藤知事(当時)が大熊、双葉両町に集約するよう要請したことを受け、最終的には両町への設置計画に変更された。建設の受入に関しては、県の専門家会議が2014年5月末に施設の安全性に関する評価と論点を提示した後、用地の賃貸借や、いわゆる地域振興策の内容に関する協議が県

Transport issues of interim storage facilities in Fukushima Prefecture : Itsuki Yoshida.

(2015年6月2日 受理)

第1表 中間貯蔵施設の設置計画に関わる経過

年	月 日	事 項
2011年	3月11日	東日本大震災、東京電力福島第一原子力発電所事故発生
	8月27日	菅直人首相が佐藤雄平知事(いずれも当時)に中間貯蔵施設の設置を要請
	10月29日	環境省が「東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質による環境汚染の対処において必要な中間貯蔵施設等の基本的考え方について」を策定・公表し、県内市町村長に説明
2012年	3月10日	福島県及び双葉郡8町村に対し、3つの町(双葉町、大熊町、楢葉町)に分散設置する国の考え方(案)を説明
	11月28日	福島県及び双葉郡町村長の協議において、佐藤雄平知事(当時)が調査の受入表明
2013年	4月9日	楢葉町で事前調査を開始(ボーリング調査は7月開始)
	4月28日	福島県が「中間貯蔵施設に関する専門家会議」を設置
	5月17日	大熊町で事前調査、ボーリング調査を開始
	6月28日	環境省が「中間貯蔵施設安全対策検討会」および「中間貯蔵施設環境保全対策検討会」を設置
	9月6日	環境省の検討会で、大熊、楢葉両町で中間貯蔵施設を「設置可能」と報告
	10月11日	双葉町で事前調査、ボーリング調査を開始
	12月7日	環境省の検討会で、双葉町でも中間貯蔵施設を「設置可能」と報告
	12月14日	石原伸晃環境大臣(当時)ら、福島県並びに楢葉町、大熊町、双葉町及び富岡町に対し、中間貯蔵施設の設置受入を要請
	12月24日	環境省が「中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係る検討会」を設置
	2014年	1月27日
2月12日		佐藤知事(当時)が政府案の建設候補地から楢葉町を外し、大熊、双葉の両町に面積を拡げずに集約するよう見直しを要請
2月26日		大熊町、「中間貯蔵施設安全対策検討会」を設置
3月27日		石原環境大臣(当時)が中間貯蔵施設を大熊、双葉の両町に集約する新計画案を提示
4月25日		環境省が福島県、大熊、双葉両町に「速やかな住民説明会の開催について」要請
5月1日		大熊・双葉両町議会の全員協議会で住民説明会開催を了承
5月25日		福島県、「中間貯蔵施設に関する専門家会議」で施設の安全性に関わる評価と論点を「まとめ」として提示
5月31日		環境省、「中間貯蔵施設に関する住民説明会」を開始(6月15日まで16回開催)
7月28日		国が中間貯蔵施設用地の賃貸借を認める方針を伝達
8月8日		国が3,010億円の交付金拠出を提示
8月25日		佐藤知事(当時)、大熊、双葉両町に150億円を支援する県独自の財政支援措置を提示
8月26日		環境省と復興庁、大熊町および双葉町議会全員協議会で「中間貯蔵施設等に係る対応について(住民説明会でのご意見等への対応)」を説明
8月27日		環境省と福島県が大熊、双葉両町の住民代表(行政区長)に対する説明を実施
9月1日		佐藤知事(当時)が中間貯蔵施設建設の受入を表明
9月29日		環境省、「中間貯蔵施設の用地補償等に関する説明会」を開始(10月12日まで12回開催)
11月12日	環境省が「中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係る連絡調整会議」を設置	
11月14日	環境省が「中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係る基本計画」を提示	
12月15日	大熊町が中間貯蔵施設建設の受入を表明	
12月24日	いわき市に中間貯蔵管理センター設置(JESCO)	
2015年	1月13日	双葉町が中間貯蔵施設建設の受入を表明
	1月16日	望月環境大臣が「中間貯蔵施設への搬入開始見通しについて」を公表
	1月28日	環境省が「中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係るH26~27年度実施計画」を提示
	2月8日	環境省と復興庁が「中間貯蔵施設への搬入に当たっての確認事項等について」を提示
	2月25日	福島県、大熊町、双葉町が中間貯蔵施設への搬入受入を容認。環境省と「中間貯蔵施設の周辺地域の安全確保等に関する協定書」を締結。
	3月13日	ストックヤードへのパイロット輸送開始
	4月13日	環境省、福島県、大熊町、双葉町が「中間貯蔵施設環境安全委員会」を設置。

(福島民友記事(2014年3月28日)、河北新報記事(同8月30日)、環境省ホームページ³⁾をもとに筆者作成)

と国との間で交わされ、同年9月1日に佐藤知事(当時)が中間貯蔵施設建設の受入を表明するに至った。その際、福島県は「建設受入の判断と搬入受入の判断は別」と申し入れ、「国による搬入ルート維持管理等及び周辺対策の明確化」や「施設及び輸送に関する安全性」など5点を搬入受入判断時の確認事項に挙げた⁴⁾。中間貯蔵施設へ搬入する除去土壌等は、福島県内の仮置場等で大量かつ広範に分布しており、輸送に関わる諸課題がクリティカルな課題として意識されたことが背景にある。環境省でも、2013年12月に「中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係る検討会」を設置し、2014年11月には「中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係る基本計画(以下、輸送基本計画)」を提示した。また、同月には、福島県と各市町村に加え、県警本部や国土交通省東北地方整備局、東日本高速道路(株)等も参画する「連絡調整会議」が設置された。

一方、環境省では、施設の予定地内に保管場(ストックヤード)を設置し、運び込まれる予定の除去土壌等がある県内43市町村から概ね1,000m³ずつ輸送する「パイロット(試験)輸送」を2015年3月に開始する計画であることを示した。これを受け、福島県では専門家会議を開催し、搬入受入時の確認事項として示した点を中心に、輸送の安全性を協議し、環境省と復興庁が「中間貯蔵施設への搬入に当たっての確認事項等について」を連名で提示したことを受け、同年2月25日には、福島県と大熊町、双葉町の三者が中間貯蔵施設への搬入受入れを容認、環境省との四者間で「中間貯蔵施設の周辺地域の安全確保等に関する協定書(以下、協定書)」を締結した。その結果、同年3月13日から、大熊、双葉各町に1万m³の容量で設置されたストックヤードへのパイロット輸送が開始され、2,967m³の除去土壌等が運び込まれている(同年5月27日現在)。また、同年4月には、環境省が主宰し、福島県、大熊町、双葉町の担当者に両町の市民4人ずつを加えた「中間貯蔵施設環境安全委員会」が設置され、先の協定書に基づき、除去土壌等の収集及び運搬の状況についても監視、助言を行うことになっている。

Ⅲ. 除去土壌等の運搬に関する諸課題

中間貯蔵施設への除去土壌等の運搬に関する諸課題は、①仮置場等の発地側、②仮置場等から中間貯蔵施設への運搬時、③中間貯蔵施設およびその周辺の受入側の3段階に分けて考えることができる。

1. 発地側の課題

発地側の課題として、運搬計画の立案に関わる部分が大きい。中間貯蔵施設に運び込まれる予定の除去土壌等は、量の多さもさることながら、発地が多岐にわたることが運搬計画の立案を困難にする一因となっている。

2014 年末の段階で県内の仮置場と庭先や空地などの現場保管を合わせ、8 万 3 千箇所余りの発地が存在している。加えて除染は国直轄で行われるケースもあれば市町村が発注する場合もあるうえ、除染による線量低減効果を確認しながらの作業となるため、除去土壌等が発生するタイミングや量の分布を予測することが難しい。

もう一つの問題は、使用車両の制約である。現場保管されたフレキシブルコンテナバッグ(以下、フレコン)は、駐車場や広場などの空地、耕作されていない田畑や自宅の庭先に積み上げられている場合が多く、10 トン車等の大型トラックで直接搬出することが困難な箇所が大半を占める(第 1 図)。また、各市町村で順次整備されている仮置場も、住宅等から離れた山間部に整備されるケースが多く、搬入路が狭隘であるうえ、高低差が大きかったりすることから、トラックであればどのような車両でも使用できる状況にはない。

2. 運搬時の課題

次に、運搬時の課題として、トラックの通行台数に関わる問題がある。道路には、一定時間に車両が円滑に走行できる「容量」が存在しているが、積み荷の重い大型トラックが数多く走行すると、乗用車のみが走行する場合と比較して「容量」が小さくなる。そのため、中間貯蔵施設へ輸送するトラックが集中する区間では、道路混雑が発生しやすくなるうえ、日常的に道路混雑が発生しやすい都市部では、混雑が深刻になる可能性もある。また、輸送が長期化することで、沿道住民の生活環境に十分配慮することが必要である。大型トラックが途切れることなく通過するのでは、騒音や振動の問題が顕著になる可能性がある。道路の損傷対策とあわせて、沿道住民の「受容限度」に配慮した運搬計画が必要である。

二つ目の課題は、トラックの乗務員など運搬従事者の被ばく管理と放射線防御である。「東日本大震災で生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則(除染電離則)」



第 1 図 現地保管の様子(福島市内の駐車場)
(2014 年 3 月に筆者撮影)

(2012 年 1 月)に基づき、厚生労働省は、除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドラインを策定しているが、国直轄除染を受託する大手ゼネコンは、事務所の管理者が専門的な講習を受講し、それに基づき労働者に教育を行っている。こうした方法は、中間貯蔵施設への運搬の際にも有効になると思われる。加えて、運搬時の危機管理も課題である。除去土壌等を運搬するトラックが万が一事故になった場合、放射性物質(や有機物)が拡散する可能性がある。しかし、現場で最初に処理にあたるのは乗務員であり、運搬している内容物を正確に把握することに加え、事故処理にあたる警察や道路管理者との連携も重要である。

現在のパイロット輸送では、環境省が示した「中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係る H26~27 年度実施計画(以下、実施計画)」(2015 年 1 月)のなかで、従事者への研修や安全確保、事故等への対応が定められている。パイロット輸送の目的は「本格輸送に向け、安全かつ確実な輸送を実施できることを確認⁵⁾」することとされるが、放射性物質を含むフレコンを輸送することは本格輸送と変わりはなく、パイロット輸送といえども、これらへの対応が確実になされていることが必要である。しかし、実施計画の公表から、パイロット輸送の開始までは、わずか 1 ヶ月半と短期間であり、これまでのパイロット輸送では、中間貯蔵施設予定地の近隣にある仮置場を対象に、国直轄除染を実施した大手ゼネコンが担っている。そのため、輸送が除染業務の延長上に考えられてきたようにも思える。本格輸送では、大量かつより長距離の輸送が長期間にわたり継続することになる。したがって、事故リスクをどのような体制で管理するかが重要になる。輸送従事者への研修はもとより、事故時の連絡体制や初動対応が確実かつ円滑であるか、会議室での「連絡調整」に止まらず、関係者が実際にシミュレートする機会も必要ではなかろうか。パイロット輸送で「問題なく輸送できた」ことを表明する以上に、道路利用者や沿道住民の理解を得るためには欠かせないプロセスである。

第三に、トラックの乗務員の確保に関する課題がある。環境省の試算⁶⁾では、2,200 万 m³の除去土壌等を 3 年間(各年の稼働日数を 250 日間とする)で運び込むと仮定したとき、必要となる 10 トントラック(ダンプを含む)は 1,500~2,000 台とされる。福島県内で登録されている 10 トン車の台数は 2,329 台(2011 年 3 月現在)であることから、県内の大半の車両と乗務員を充当しなければならない。

3. 受入側の課題

最後に、受入側の課題を整理する。第一に、中間貯蔵施設における受入能力の課題が存在する。受入・分別施設の処理能力で、1 日に搬入可能なトラックの台数が規

定されることになるため、施設内の通路やトラックの停車帯の設計にも注意を払う必要がある。加えて、受入・分別施設に何らかのトラブルが発生した場合、施設外に交通混雑が発生することを抑えるとともに、トラック乗務員の休息や待機を行うためのターミナルを中間貯蔵施設の近傍に設置することが必要である。

また、民間の物流会社が輸送を請け負う場合、事業用自動車の運転者は、疲労蓄積防止の観点から、144時間以内に所属営業所に戻る必要がある(国土交通省公示第1365号)。したがって、県外から乗務員や車両を受け入れる場合は、点呼や日々の車両整備といった運行管理の拠点が必要となる。東日本大震災では、がれき等の運搬等を促進するため、被災地内に一定の要件を満たした「被災地拠点」がある場合、同所に144時間以内に戻れば、所属営業所に戻らなくても業務に従事できる特例が設けられた。したがって、前述のトラック等が休憩・待機するターミナルに「被災地拠点」の要件を満たす設備をし、上記の特例を中間貯蔵施設への運搬にも適用する方法が有効と考えられる。

IV. 今後の交通施策の論点

以上に述べた中間貯蔵施設への輸送に関する諸課題を踏まえ、交通施策に関する今後の論点を整理する。なお筆者は、福島県が設置した専門家会議の委員として、以下に示す論点を指摘しており、いくつかの点は、環境省の輸送基本計画でも考慮されていることを申し添える。

1. 一般交通との時間的・空間的分離

中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送では、県内各地に分散した汚染土壌等を安全に運搬することが重視されるべきである。運搬時には、沿道の住民や道路利用者など不特定多数の至近を通過するうえに、車両の集中による交通渋滞が引き起こされる懸念がある。そのため、専用走行空間の整備や鉄道貨物輸送の活用など、可能な限り一般交通との時間的・空間的分離を図ることが求められる。なお、環境省の輸送基本計画では、夜間の輸送が有力な選択肢に挙げられているが、振動や騒音の基準を満たすだけでなく、夜間であっても、事故時の連絡体制や初動対応が円滑かつ確実に行えることが大前提である。

2. 集約輸送の実施

除去土壌を一時保管する仮置場は、大型トラックによる搬入搬出を想定していないケースが多く、仮置場自体の整備も遅れ、自宅の敷地内等にフレコンが置かれている例もある。他方で、乗務員を確保する観点から、輸送に必要なトラックの台数は可能な限り少なくしたい。こうしたなかで中間貯蔵施設への円滑な輸送を確保するためには、一定の範囲内にある仮置場等のフレコンを集約する「中継拠点」を整備し、中継拠点から中間貯蔵施設ま

での「幹線輸送」と、中継拠点までの「域内輸送」に分離する(環境省では「集約輸送」と称する)ことが有効である。但し、フレコンの積み卸しに時間を要するほど集約輸送による台数削減効果が小さくなり、パイロット輸送の計画積み卸し時間(10トン車で30~40分/台)を考慮すると、中間貯蔵施設から概ね20~30km以上離れた地区で集約輸送のメリットがあると考えられる⁷⁾。

3. 総合的マネジメントの必要性

除去土壌等の運搬には、大量の大型トラックと乗務員の確保が必要であり、福島県内で車両登録されている大型トラックでは対応しきれず、県外からの車両や乗務員の調達が必須になると考えられる。加えて、輸送の範囲は福島県内の大部分に及ぶと想定され、輸送業務を一事業者が包括的に請け負える規模ではないため、ICT(情報通信技術)を活用した運行管理のセンター化が必須となる。現在、統括的な運行管理は、国の100%出資企業である中間貯蔵・環境安全事業株式会社(JESCO)が担っているが、既に全国的な輸送網を有する民間の物流会社のノウハウを活用することが有効である。一方で、輸送が進められるなかで生じ得る諸問題をどこで共有し、誰が対策するかの「責任分担」が未だ曖昧である。例えば、2015年2月に締結された協定書では、中間貯蔵施設環境安全委員会が「監視役」を担うとされるが、同様に環境省が主宰する既設の検討会や連絡調整会議との分担はどのように考えられているのか。また、中間貯蔵施設への輸送は、県内に多くのステークホルダーがあることから、これらの会議だけで、関係者の「連絡調整」を十分に図ることは困難である。福島県と運行管理主体(JESCO)が輸送に関わる諸課題を常に収集、意見交換できる体制も必要である。

— 参考文献 —

- 1) 吉田樹：中間貯蔵施設の設置に関わる交通の諸問題，都市計画，63(5)，pp.52-55，2014。
- 2) 環境省：除染土壌などの中間貯蔵施設について(パンフレット)第1版，2014。
- 3) 環境省中間貯蔵施設情報サイトホームページ
<https://josen.env.go.jp/chukanchozou/action/>(2015年5月31日閲覧)
- 4) 福島県知事：中間貯蔵施設に係る申入れについて，2014。
- 5) 環境省：中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係るH26~27年度実施計画概要版，2015。
- 6) 中間貯蔵施設等福島現地推進本部：除去土壌等の中間貯蔵施設の案について，pp.63-64，2013。
- 7) 吉田樹：福島県の中間貯蔵施設が抱える交通問題，IATSS Review，39-3，pp.34-42，2015。

著者紹介



吉田 樹 (よしだ・いつき)
福島大学 経済経営学類
(専門分野/関心分野)交通計画，地域交通政策



国立高専における原子力人材育成について

国立高等専門学校機構 紀 聖治

原子力発電所で即戦力となる技術者育成について、地元の高等専門学校(高専)の果たす役割は大きく、近年では、就職希望者の約1割が原子力関係に就職している。高専では正式カリキュラムとして原子力関係講座を持たないが、卒業生の地元関連企業採用ニーズに対応し、原子力人材育成ネットワークを通じた原子力系大学、産業界等との連携により、原子力教育を実施している。

高専独自に教育カリキュラムを開発し、講義、実験、施設見学等を授業に組み込んで実施しているほか、高専の全国ネットワークを活用して、共通テキストの作成・利用、学内放射線量測定結果の持ち寄り等により、教育効果の向上を図っている。平成22年度からは文部科学省国際原子力人材育成イニシアティブ事業に取り組んでおり、その内容について報告する。また連携先である長岡技術科学大学における取組も紹介する。

KEYWORDS: *National Institute of Technology, Nagaoka University of Technology, education in nuclear technology, remote education*

I. (独)国立高等専門学校機構(国立高専機構)における原子力教育

国立高専では、高専制度設置時より、実験実習を重視したものづくり教育によって、広い工学分野での開発型の実践的技術者育成を行ってきた。近年では、就職希望者の約1割が卒業後に原子力関係事業所に就職して、原子力産業界に必要な実践的で開発能力を持った専門技術者として活躍している。

一方で、国立高専には原子力関係の学科や専攻は設置されていないため、原子力関係・放射線関係の教育は主に、物理、工学基礎物理などの科目や電気・電子あるいは物質工学の専門工学で実施している。これを補うため平成22年度に文部科学省 機関横断的な人材育成事業によりフイージビリティスタディを23の国立高専が参加して実施し、さらに、平成23年度から平成25年度までは「機関連携による防災・安全教育を重視した実践的原子力基礎技術者育成の実施」の題名で文部科学省、機関横断的な国際原子力人材育成イニシアティブ事業を33の国立高専で実施した。さらに、平成26年度からは全国の全ての高専51校が参加して、平成28年度までの同事業を実施中である。これらの取り組みなどについて報告する。

Education for human resource development in the nuclear field in National Institute of Technology: Seiji Kino, Eiji Takada, Shigekazu Suzuki, Yasuo Ohta, Tatsuya Suzuki.

(2015年5月18日 受理)

1. 高専制度と原子力教育

(1) 国立高専とその教育について

国立高専は、我が国経済の高度成長を背景に、産業界からの強い要望に応えるため昭和36年に設立された。実践的技術者の養成を目指し、中学校卒業者を入学資格とする5年制の高等教育機関として学校教育法の改正により、工業に関する高等専門学校を制度化して発足した。さらに、昭和42年からは、商船に関する学科の設置を制度化し、国立商船高等専門学校5校が発足した。平成3年には、5ヵ年の本科課程の延長として、大学3、4年課程に相当する専攻科課程が発足した。さらに、平成16年には全国の国立高専がひとつとなる独立行政法人体制に移行した。現在では、国立高専機構の下に51の高専が全国に設置されている。高専教育の特徴は高校・大学と同等な内容の教育を本科5ヵ年で行うことにあり、独特のカリキュラムのもとに高い密度の教育を行っている。

国立高専機構では、就学者に対する教育の質の保証と、さらに各高専の特色ある教育を行うため、平成24年より「モデルコアカリキュラム(試案)」を全国の高専で試行している。モデルコアカリキュラムの枠組みにおける「コア」部分は共通して扱うべき項目で構成され、「モデル」部分は、先導的な取組事例を全高専が共有し、各高専の実情に応じて導入・普及を図るものとなっている。

一方、国のエネルギー基本計画においては原子力発電が「重要なベースロード電源」と位置付けられ、今後重要性を増すバックエンド技術等に関連する問題に対応するため、高専においても当該分野の実践的技術者の育成を

行う教育体制を構築する必要があると考えられる。特に、①幅広い工学的基盤をもつ国際性の高い技術者、②原子力工学・放射線工学知識を持った技術者の育成が必要と考えている。高専によっては、モデルコアカリキュラムの「モデル」部分に原子力に関する教育を導入している場合もある。しかし、第1図に示すように多数の学生が原子力企業・関連企業等へ就職しているにもかかわらず、基本的には高専教育の中で原子力・放射線に関する体系だったカリキュラムは未整備であり、それを補う取り組みが必要となっている。

2. 文科省予算による原子力人材育成事業

高専には原子力・放射線を主に扱う学科・専攻は現在のところ設置されていない。それを補うため、長岡技術科学大学(長岡技科大)と連携して、日本原子力研究開発機構(原子力機構)の協力により、平成26年度からは全国の51高専55キャンパスが参加する形で、機関横断的な原子力人材育成事業「国立高専における原子力基礎工学分野での教育システムの確立」と題した事業を実施している。以下、その内容を紹介する。

(1) 実習・インターンシップ

原子力機構、長岡技科大における原子力関連実習を実施している。実習期間は1週間とし、国立高専におけるインターンシップ単位として認定可能としている。原子力機構における実習は大洗の放射線取扱施設で行われ、原子力の基礎、原子炉の安全性等の講義に加え、材料試験炉(JMTR)等の見学を実施した。また、JMTRにおける動特性実習、「常陽」の運転訓練シミュレータ実習、高温工学試験炉(HTTR)の安全性に関する実習も実施した。一方、国立高専機構内部の実習として、富山高専、松江高専、福島高専でも実習を行った。各高専で実習を行うことで、高専全体の原子力人材育成のレベルを向上・維持することも目指している。平成26年度の実習参加者は、合計62名であった。(第2図)

(2) 遠隔TV講義および実習

平成26年度からの事業では、高専における原子力・放

射線関連教育の体系化を目指し、高専-長岡技科大、豊橋技科大の間で整備されているTV会議システム(GI-net)を活用したTV講義を開講し、平成26年度には9回の講義を実施した。内容は、①概論(わが国のエネルギー需給等)、②放射線基礎、③放射線計測、④原子炉の構成と物理、⑤核燃料サイクル、⑥原子炉材料、⑦放射線防護、⑧原子力とシステム安全、⑨核融合からなり、原子力関係の大学教員および研究所の研究者によるそれぞれの専門分野の講義を実施した。全高専を対象とするTV講義は原子力以外の分野を含めても初めての試みであり、聴講した学生にも貴重な機会であると考えられた。平成27年度以降はリアルタイムアンケートシステムを活用するなどして、学生の集中力を保つよう工夫していく予定である。平成26年度には、9回の延べ人数で957名の学生が講義を聴講した。平成26年度の講義は外部専門家に全て依頼したが、高専における原子力・放射線関係の教育技術の向上を目指し、平成27年度には原子力および核融合関連の大学専攻を修了した教員も講義を担当する。放射線基礎、放射線計測、核融合に関連する講義を予定している。

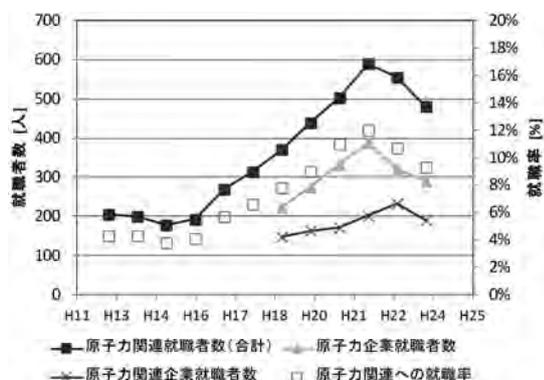
また、本講義を全て聴講した学生を対象とし、原子力機構において3日間の実習を実施した。講義や実習、見学を組み合わせ、学生の理解をさらに深めさせるように試みた。

(3) テキストの作成

平成23年度~平成25年度に実施した文科省事業により、高専生および技科大生向けのテキスト「基礎原子力工学」を作成し、主に高専内で使用している。その基礎的部分を対象に英文化を進め、高専の専門課程で実施される英語教育において使用することを目指している。内容はエネルギー需給と原子力の状況、放射線の基礎、放射線計測等からなる。また、高専で使用可能な実習テキストとして、GM計数管を用いるもの等を開発している。完成後は各高専に配布し、実験・実習で活用する予定である。

(4) 各高専における卒業研究・特別研究

高専では、本科5年次に卒業研究を、また専攻科に進



第1図 国立高専から原子力関係への就職状況
 (「原子力企業」は電力会社および業務が原子力関係中心である研究所・企業を指し、「原子力関連企業」は原子力関係の業務も行うメーカー等企業を意味する。)



第2図 日本原子力研究開発機構における実習の様子

学した学生は専攻科での2年間を通じて特別研究を実施する。その中で各担当教員の指導のもと、原子力・放射線に関するテーマを取り扱った。また、その一環として、25の高専においてNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる測定を継続して実施した。さらに、ポケット線量計を各高専で順次使用し、低学年学生に数日～1週間の継続測定を行わせることで、バックグラウンド放射線についての理解を促す取り組みも行った。平成26年度にポケット線量計による測定を経験した学生は、25高専777名であった。

3. 高専における廃炉教育

国家課題である福島第一原子力発電所廃止措置を進めていく上で中長期的な観点からの中堅技術者育成は喫緊の課題であるとともに、実践的な中堅技術者を育成している国立高専の課題である。特に、国立高等教育機関の中で福島第一原子力発電所に最も近い場所に立地している福島高専には、全国の高専を廃炉教育の分野で牽引する立場が求められている。そこで中長期的な視点での人材育成及び大学・研究機関との連携を進めるために、「廃止措置人材育成高専等連携協議会(略称：廃プロ高専協)」を平成27年3月17日に設立した。事務局を福島高専内に置き、初代会長に中村隆行福島高専校長、副会長に丁子哲治鹿兒島高専校長が就任した。平成27年4月現在で28高専、5大学、3自治体関係、4民間企業が加入しており、今後、会員増強に努める予定である。

廃プロ高専協の設立に伴い、福島高専で会員校対象の廃炉学修プログラムの立ち上げを検討している。先行して廃炉に関する授業を平成27年度から2科目新規に立ち上げ、GI-netを活用した遠隔授業を開始する。授業は3年生対象の「廃炉と社会」、4年生対象の「廃炉工学」であり、いずれも1単位、集中講義形式で実施する。

「廃炉と社会」では、福島第一原子力発電所の廃炉に向けて社会的側面も含めて必要とされる基礎知識を修得させる。また、廃炉に先行して関連する放射線や除染、中間貯蔵施設についても考える内容とし、さらに地球大気形成の歴史やウラン資源形成、生物学や物理学、ロボット、廃棄物処理などに関する基礎的な講義のほか、廃炉に向けた地域住民とのコミュニケーション手法を理解するためのグループワークを実施予定である。

「廃炉工学」では、軽水炉の構造や中性子の振舞、原子力発電所の廃炉とスリーマイル島(TMI)やチェルノブイリの原子力事故について学習する。また、福島第一原子力発電所廃炉に向けた中長期ロードマップの理解と、放射性廃棄物の処理処分についても考えさせる。どちらの講義も、講義時間帯が合わない場合や、既存の講義の一部としても活用できるようにするために、講義の様子を録画しておき、必要に応じて使用できるように共有化を図る。また、高専機構で実施している「国際原子力人

材育成イニシアティブ事業」で整備しているコンテンツも活用し、内容の充実化を図る予定である。講師は、廃プロ高専協に参加している高専教員や大学教員、企業や研究機関の技術者・研究者等に依頼し、全国から幅広い分野の講義を実施する。平成28年度には更に講義1科目と実験・実習1科目を立ち上げ、インターンシップや研究連携の枠組みを整理し、原子力機構福島遠隔技術開発センターの積極的利用も含め、高専全体での廃炉教育を充実させる予定である。

高専の本科は16歳から20歳までの幅広い年齢の学生が在籍していることから、早期の一貫した教育が可能である。その利点を生かし、福島高専では平成18年度から全学科の2年生を対象に全教員の指導のもと、自由な発想と創造性を育むための新たな試みとして「ミニ研究」の科目を導入し実施している。これは半期1単位で、一般、専門を問わず全教員に数名の学生が割り当てられ、学生が教員の専門分野に関するテーマで研究に取り組む授業である。平成27年度は「福島第一原子力発電所の廃炉について考える」というテーマで、電気工学科3名、建設環境工学科1名の4名が研究を開始した。今後、福島第一廃止措置に関する正確な情報を収集し、廃止措置が進んでいる日本原子力発電東海発電所の見学などを通じ、学生自らの目で見、直接耳で聞いて廃炉に必要な技術を調べると同時に、廃炉に関する学生の関心を更に高めたい。

II. 長岡技科大における高専の原子力人材育成との連携

1. 長岡技科大と高専の関係

長岡技科大は創造的指導的技術者を育成するための新構想大学として、昭和51年に設置された大学である。高専で5年間あるいは専攻科を含めて7年間の技術者教育を受けた言わば技術者のサラブレッドと言える学生たちを、3年生編入あるいは大学院で受け入れてより一層の創造性を育むと共に、技術者のリーダーとして育て上げるというのが長岡技科大の役割である。学生定員の80%が高専生の3年生編入であり、まさに高専生の大学である。

長岡技科大は高専から学生を引き受けるだけでなく、高専と協力しながら教育活動も行っている。したがって、原子力分野でも高専と連携しながら人材育成を行っているのである。

長岡技科大では、高専生を対象とした講義と実習を準備している。講義では、原子力の基礎、原子力安全、放射線の基礎、放射線の応用などを行っている。また、実習では静電加速器を用いた実習、天然放射性物質を捕集し測定する実習、天然放射性物質を用いた分離実習、天然ウランを含んだ物質を用いた天然ウランの放射能と性状を学ぶ実習などを行っている。特に実習では自然界に



第3図 汚染土壌の線量測定風景

ある放射性物質を用いることによって、実習生に対して放射線によるリスクを最小限に抑えて、放射性物質の取扱や測定に関する基礎を学ぶと共に放射線や放射性物質に対してむやみに恐れることなく、対応できるようにすることを目指している。

2. フィールドでの実習や原子力施設等見学

長岡技科大では、福島高専や茨城高専と連携しフィールドでの実習を行っており、福島第一原子力発電所事故の影響を理解するため、線量測定の実習、除染現場の見学や除染の体験、除染で発生した汚染土の仮置き場の見学を行っている(第3図)。施設見学では、長岡技科大が柏崎刈羽原子力発電所から15km圏内であるという状況も利用し、発電所見学や関連施設の見学を行っている。

3. 放射線利用施設を用いた共同利用・共同研究

長岡技科大は、放射線利用施設であるラジオアイソトープセンター(RIセンター)や極限エネルギー密度工学研究センター、また、新たに設置された静電加速器などを、共同利用あるいは共同研究のため全ての高専に開放している。RIセンターでは α 核種であるアクチノイドも利用可能であり、原子力人材育成に必要な放射性核種は、ほぼ全て利用できる。また、一般的な放射線測定器に加え、誘導結合型プラズマ質量分析装置(ICP-MS)が管理区域内に設置してあることもRIセンターの特徴である。ICP-MSでは長半減期核種の測定だけでなく、安定核種の測定も可能であるため、実施できる化学実験の幅が広い。

放射線発生装置としては、コッククロフト型の静電加

速器に加え、エネルギーの異なる大電流(kAを超える電流)を発生させるパルス発生装置(ETIGO-II, III, IV)など世界的に見てもユニークなものがそろっている。現状では、これらの施設・設備が共同利用あるいは共同研究用として高専に十分に利用されているとは言えない。まずは試験的な試みでよいので、ぜひ長岡技科大RIセンターに問い合わせをいただければと思っている。

長岡技科大においては、今後も放射線利用施設および関連施設を活用した高専原子力人材育成を行いたいと考えており、高専でも高専生のインターンシップ、教育研究で積極的に長岡技科大を利用してもらいたい。

III. まとめ

国立高専機構および長岡技科大では、連携して原子力人材育成に取り組み、成果を上げてきた。我が国の電力安定供給に資するため、今後も原子力分野に必要な実践的技術者の育成に貢献するよう努めてまいらる所存である。学会関係の皆様のご支援をお願いしたい。

著者紹介

紀聖治(きの・せいじ)

国立高等専門学校機構 理事

(専門分野/関心分野)工学教育, 組織マネジメント

高田英治(たかだ・えいじ)

富山高専 電気制御システム工学科 教授

(専門分野/関心分野)放射線計測, 原子力教育

鈴木茂和(すずき・しげかず)

福島高専 機械工学科 准教授

(専門分野/関心分野)核融合炉材料強度評価, 廃止措置, ロボット

太田泰雄(おおた・やすお)

長岡技術科学大学 特任教授・特命教授

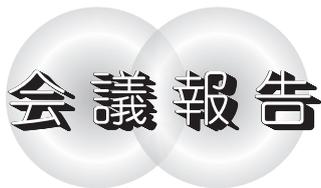
(専門分野/関心分野)原子力教育, リサーチ・アドミニストレーター(URA)

鈴木達也(すずき・たつや)

長岡技術科学大学 教授

ラジオアイソトープセンター長

(専門分野/関心分野)核燃料サイクルにおける分離, 使用済み燃料の核種分離による廃棄物の減容化, 同位体分離技術による原子力や他分野への応用



数理計算学・原子核応用におけるスーパーコンピューティング 及びモンテカルロ計算国際会議(M&C + SNA + MC 2015)

Joint International Conference on Mathematics and Computation (M&C),
Supercomputing in Nuclear Applications (SNA) and the Monte Carlo (MC) Method
2015年4月19~23日(米国ナッシュビル)

数理計算学(Mathematics and Computation)・原子核応用におけるスーパーコンピューティング(Supercomputing in Nuclear Applications)及びモンテカルロ計算(Monte Carlo)に関する国際会議(M&C + SNA + MC2015)が米国ナッシュビルの Sheraton Music Cityにおいて、2015年4月19~23日に開催された。当会議には米国や欧州、アジアなどから計算科学、原子力、放射線科学等の分野の研究者363名が参加し、2件の招待講演と210件の口頭発表、及び48件の一般ポスター発表、20件のコード紹介に関するポスター発表が行われた。

本会議の最大のテーマは、原子炉における臨界計算や、臨界計算をさらに熱流動と組み合わせたマルチフィジックス計算、粒子輸送計算等で重要となるシミュレーションの高速化である。高速化のためにはコンピュータの並列化や計算速度向上だけでなく、その性能を発揮できるような計算コード開発が近年では大変重要となっている。並列化のために一般的に採用されている技術はOpenMP等を使ったメモリー共有並列か、MPI(Message Passing Interface)によるメモリー分散並列であり、本会議で発表されたほとんどのコードは対応していた。さらに、先進的な内容として、汎用GPU、Xeon Phiボードによる並列計算についての発表もあったが、これらはメモリーの容量が著しく制限されるため現段階では汎用的に使える技術ではない。

また、今後のコンピューティングに関して、少なくとも今後数年間はコンピュータの少メモリー・多コア化が進むと予測され、多数あるコアをいかに有効活用するか、コア数に対するメモリー容量の不足をいかにして回避するかが、今後コード開発において重要になるという指摘があった。コアを有効活用しようとして並列数を増やせば、並列処理をするコアの間の通信が増え、さらにメモリーへのアクセスが重複し、それにより高速化効率が頭打ちになる問題がある。そうした問題への対処として、各計算コアが同じ計算を並列して行う代わりに、断面計算、計算結果の記録、粒子の挙動解析のように計算を部分ごとに分割して、コアごとに異なる計算を担当することでメモリーへのアクセスや通信の負荷を低下させるアイデアが発表された。

他にコア間の通信負荷を軽減するために、計算結果を一つのコアに集約する前に、計算結果を各々のコア同士

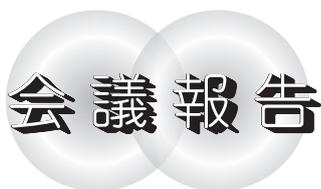
で集約させることにより最後の集約をする過程を担当するコアに通信負荷が集中しないようするアイデアなどが議論された。

また、スーパーコンピューティングの応用分野に関しては、核融合のセッションがドイツのカールスルーエ大学に所属する研究者の呼びかけにより開催され、Tokamak等の核融合装置を模擬した巨大体系における効率的な中性子・光子輸送計算の方法などについて議論が行われた。核物質検知への応用についても、物質中の単一の核反応から放出されるガンマ線を同時検出し、その角度やエネルギー相関から物質中の核種を推定する計算技術などが議論された。このような粒子同士の相関を求める計算は計算時間がかかりやすいため、計算の効率化が重要視されていた。一方、加速器駆動未臨界炉(ADS)も大規模計算が重要になる分野であるが、本会議では発表が行われなかった。

モンテカルロ法による放射線輸送計算コードについては、コード間の競合関係はこの数年で大いに変化していることが分かった。放射線輸送計算コードは大まかに、原子炉の臨界固有値計算や遮蔽計算を行うコードと、加速器等における固定線源問題を扱うことを目的としたコードの2つのカテゴリーに分けられる。このうち、数十年にわたる長い開発の歴史を持つMCNP6や、近年において機能拡張を急速に進めているOpenMCとSuperMCは、CADとの互換性やオブジェクト指向プログラミングなど、MCNP6が不得意な近年特有の特徴を踏まえながら原子炉向けの開発に集中しており、加速器等で使われる高エネルギー核反応に関する機能開発はほとんど進められていなかった。一方で加速器等の固定線源問題を扱うコードは、原子力機構が中心となって開発しているPHITS、欧州で開発されているFLUKA、国際コラボレーションで開発されているGeant4があり、高エネルギー核反応や放射線と物質との詳細な相互作用に関する計算機能の開発等が進められていた。今後は上記の各カテゴリー内で差別化や協力を進めながら、コード開発を進めていく必要があることが判明した。

今回は2つの学会M&CとSNA-MCの合同の会議であったが、次回はM&Cが2017年に韓国の済州島で、SNA-MCが2020年に日本で開催される予定である。

(日本原子力研究開発機構・小川達彦、2015年5月26日記)



第2回トリウム燃料に関する国際セミナーの報告

Report of second international seminar on Thorium fuel

2015年4月15日(東京, 日本)

人類社会の持続のためにエネルギーの確保が必須要件の一つであるが、太陽光を除けば、地球上で利用できるのは地球生成時に付与された①重力エネルギーの解放に由来する熱エネルギーと②核エネルギーである。ただし、①の利用は地熱等に留まることから、世界的に原子力発電所建設の動きが強まり、ウランの需要が増加すると予想されている。そこで、ウラン資源の枯渇回避手段の一つとして、陸上の埋蔵量がウラン資源の3から4倍に達するとされるトリウム利用の検討が活発に行われている。

核燃料部会では大震災前の2010年6月にトリウム利用に関するワーキンググループ(WG)を立上げたが、東京電力福島第一原子力発電所の事故によりWGの中断を余儀なくされた。その後トリウムに係る国際機関等によるレポートの発行、ノルウェー Thor Energy 社が組織した国際コンソーシアムによるハルデン炉でのトリウム燃料照射試験の進展等の状況があり、2013年11月にWGを再開し、トリウム燃料の核特性、炉心設計、基礎物性評価や上記海外レポートのレビューを行った。

今般、Thor Energy 社及びハルデン炉関係者を迎えて、WGの成果、ハルデン炉のトリウム燃料照射、国内でのトリウム照射経験と理論を主体とした研究成果について情報交換し、議論を深めることを目的として、東京大学の山上会館にて国際セミナーを開催した。

WG主査の大阪大学山中先生の主催者代表挨拶の後、東京大学寺井先生座長のもとで、4件の講演が行われた。

Thor Energy 社の Carlo Vitanza 氏は、トリウム燃料の開発を、ステップ1燃料(既存炉燃料のGdや ^{238}U の一部のThへ置換え： $(^{235}\text{U}, \text{Th}, ^{238}\text{U})\text{O}_2$)、ステップ2燃料(既存燃料の ^{238}U のThへの置換え： $(^{239}\text{Pu}, \text{Th})\text{O}_2$)、ステップ3燃料(A-LWRによるTh- ^{233}U クローズドサイクル)の手順で行うと説明した。2018年頃に商用炉にステップ1のTh添加燃料を装荷すること、2015年にハルデン炉でステップ2の(Pu, Th) O_2 燃料の照射を開始し、2020年頃に商用炉に装荷することを計画している。

元三菱重工の安部田氏からWGの活動状況と成果のまとめ報告が行われた。活動フェーズ1(2010.6~2010.12)の報告書が既に核燃料部会のホームページを通して公開されており、フェーズ2(2013.11~2015.3)の報告書も近々公開される。ここではIAEAレポート¹⁾と米国NRCレポート²⁾について評価を行い、トリウム燃料を既存炉に装荷する技術の蓄積が進んでいると報告した。寺

井先生から、核燃料部会としてトリウム開発研究の戦略検討を行い、WGを継続する方向の議論を進めることと、具体的研究が展開されることへの期待が述べられた。

東京大学の小宮山先生から、日本と世界のエネルギーマーケットの現状と今後の予測が報告された。国内では停止中の原子力発電分が天然ガス発電で賄われ、国の財政収支の悪化・電気料金の値上げに直結し温暖化ガスの放出量の増大が危機的な状況にあることが指摘された。

大阪大学の北田先生より、共鳴吸収領域の積分断面積がウランの方が大きいにもかかわらず、トリウム炉心のドップラー係数(負値)が大きいのは断面積のバンド幅がウランより狭いことに起因するとの説明がなされた。続いて、北田先生座長のもとで3件の講演が行われた。

ノルウェー OECD-Halden の皆川氏から、ハルデン炉での照射試験に関する報告が行われ、2013年に装荷したTh添加燃料の照射が特段の異常を示すことなく進み、予測された範囲内の挙動を呈していることが報告された。

福井大学の山脇先生より、効率的MA減容に係る研究として、トリウムをMAの代替材として添加した水素化物燃料をJMTRで照射した結果、照射量は $5 \times 10^{19}\text{n}/\text{cm}^2$ 程度と低いが、水素の解離もなく、水素がペレット内の温度勾配に沿って、中心から外側に移動したことが報告された。

大阪大学の牟田先生より、トリウム燃料の熱伝導度が高温側で酸素欠陥が存在すると大きくなるという現象について、熱伝導度を規定するKlemens-Callaway式のイオン半径項を正確に補正することで、定量的に説明できることが示された。

最後にCarlo Vitanza氏により、セミナーの総括が行われ、日本側の報告はレポートのレビューや基礎研究報告に留まっており、具体的な炉への適用に係る研究を進めることを期待すると述べた後、日本においてトリウム燃料開発に関してハルデン等との協力関係を構築することへの期待が表明された。

(ニュークリア・デベロップメント 伊藤邦博, 2015年5月29日 記)

— 参考文献 —

- 1) IAEA Nuclear Energy Series Technical Reports; Role of Thorium to Supplement Fuel Cycles of Future Nuclear Energy Systems No. NF-T-2.4.
- 2) U.S.NRC; Safety and Regulatory Issues of the Thorium Fuel Cycle NUREG/CR-7176.

「LNT 再考 放射線の生体影響を考える」についてのコメント

大阪大学名誉 教授 馬場 宏

学会誌の2014年11月号に掲載された眞鍋勇一郎、坂東昌子氏らによる解説記事並びに2015年4月号の座談会の記事は傾聴に値するものであった。氏らの最も大きな功績は、突然変異発生率という事象の定量的な推移をスケーリングの手法を用いて、種の違いを越えて普遍化し数式化したことにある。これにより、(4)式中に現れるパラメーターをデーターが十分でなくとも精度よく決められることになり、人への影響を調べる上での強力なツールになり得る可能性が示された。特に修復機能である(4)式の第二項の意味するところは大きい。また、突然変異率の線量率依存性を定量的に表したことで、しきい値が存在しないことを示したことも評価される。

ただ、論文中の(4)式の中で気になる項は $\beta dF(t)$ である。放射化学、放射線化学の常識からすると、損傷を受けた分子が修復されるアニーリングと呼ばれる過程は熱的な性質のものであり、放射線が分子を壊すことはあっても、もとの分子に戻すことはあり得ない。座談会の中で触れられているアポトーシスは細胞レベルの話であり、DNAの損傷に原因を持つ突然変異率と細胞死は結びつかない。実測データに裏付けされた(4)式は一応受け入れざるを得ないが、放射線効果に関係する研究者が等しく困惑することは間違いない。唯一考えられるメカニズムとしては、飛来した放射線が発生する熱による熱アニーリングの結果DNAが修復されることであるが、量的に妥当であるかを含めて、その意味するところは今後検討されることを期待したい。

眞鍋氏らが引用した実測データはおそらく γ フィールドを利用した γ 線照射の結果であろうと推測される。その場合には式の展開を通して d が一定であるという前提が許されるが、 $\beta\gamma$ 核種で汚染された福島現場にはそぐわない。空間線量は時間とともに変化するし、内部被曝は時間に対して複雑な関係¹⁾を示す。論文中の第2図の結果は、突然変異に關与する放射線損傷の数が時間とともに飽和値に近づくことを示しているだけで、その線量が危険なレベルであるか否かには関係がない。それを示すには相対値の $\Phi(\infty)$ ではなく、絶対値の $F(\infty)$ を取り上げなければならない。ちなみに第1表を参照すると、植物はともかく動物のマウスの場合、突然変異の自然発生率に対し、 $d=10\mu\text{Gy/hr}$ とした時の放射線起源の増加率は1%となる。 $10\mu\text{Gy/hr}$ というのは年間に直すと約100mSvという線量であり、これから見て坂東氏ら

の「際限なく被曝被害が積算されるという恐怖から一般人を解放する」という目的は達成されたと言える。

ところで(4)式で導入された関数 $F(x)$ は損傷を受けていない分子のうち t 時間後に損傷を受けている分子の割合を表しているが、右辺第1項は正確には $(\kappa+\gamma d)\{F(0)-F(t)\}$ であるべきものが $(\kappa+\gamma d)F(0)$ ($F(0)=1$)で近似されている。これは低線量率の場合を扱うということで F の減少を無視したと思われるが、 $t=\infty$ までの推移を問題にする以上、この近似は許されない。その破綻が、1より小さくあるべき $F(\infty)$ の値がショウジョウバエ、トウモロコシ、キクの3種で1より大きくなってしまったことに現れている。

したがって(4)式は、正しくは

$$dF(t)/dt = (\kappa + \gamma d)\{F(0) - F(t)\} - (\alpha + \beta d)F(t)$$

と書かれるべきであり、さらに(5)式は

$$F(\infty) = (\kappa + \gamma d) / \{\alpha + \kappa + (\beta + \gamma)d\}$$

となり、 $F(\infty) < 1$ が常に保証される。

この変更は第1表の数値を見る限り、ムラサキツユクサを除いて、4個のパラメーターの値にほとんど影響はなく、著者らの主張もそのまま活きるものと思われる。

彼らの成功は、対象として突然変異率という素過程に近い分子レベルの現象現象を内部被曝の影響のない状態で取り上げた点にある。我々が最も知りたいのは、がん発生率という細胞レベルの現象に対する放射線の影響であり、眞鍋氏らの理論がどこまで通用するのかという点である。これまでの放射線防護の研究では、主として全被曝線量と障害との関係に着目した研究がなされてきた。専門家の間では、線量強度への依存性には関心を持ちつつも、データ不足のため定性的な対処しかなされなかった。被曝の継時変化についても、発生した事故による被曝がいつまで続くのかという点に重点が置かれ、長期的な推移に目を配るという視点が欠けていた。眞鍋氏らの業績は、我々が見落としていた視点に気付かせてくれた上、スケーリングという手法の有用性を示してくれたという点で大いに評価されるものである。スケーリングという手法が、現実の被曝事故にどこまで拡張できるのか、大きな可能性が秘められているのではと期待したい。(2015年5月4日記)

- 参考文献 -

- 1) 馬場 宏, 放射化学ニュース, Vol.25, No.3, p.39.(2012).

新刊紹介

データ検証序説 法令遵守数量化

R. Avenhaus・M. J. Canty 著, 今野廣一訳, 319p. (2014.11)
丸善プラネット. (定価 4,000 円+税)
ISBN 978-4-86345-219-0

原子力の平和利用を構成する3つの「S」、すなわち、原子力安全(Safety)、核不拡散・保障措置(Safeguards)と核セキュリティ(Security)のうち、核不拡散・保障措置については「IAEAの査察」や「核燃料物質の計量管理」としてご存知の方や、実際の業務で携わっておられる方も少なくはなからう。ただし、「なぜ査察をするのか」という問いに対しては、制度的・政策的な観点から答えを出すことができる一方で、「なぜ査察回数が決まっているのか」「なぜこれだけのサンプルを抜き取って調べるのか」ということについて定量的に説明せよ、と言われたら、多くの人は言葉に詰まってしまうのではなからうか。

タイトルを一見しただけではわかりづらいが、本書は、核不拡散・保障措置に関連する様々なアクティビティの背景に潜んでいる理論的・数学的なよりどころを徹底的に詳説した教科書である。原著者らはIAEAの保障措置活動を理論的側面から支えるという研究活動を長年繰り広げており、本書では統計理論、ゲーム理論等を駆使して、保障措置の根底に

あるランダム・サンプリングから、査察インターバルの決定、不法行為の探知確率にわたる広範な諸問題に関する議論が展開されている。

本書を読み解く上では、保障措置に関する基本的な知識と大学教養レベルの数学的知識が必要であり、万人ウケをする性格の書籍ではないが、ともすれば政策・制度の議論にとどまりがちな核不拡散・保障措置の諸課題の解決策を見いだすことが如何に科学的、理論的に裏付けられたものであるのか、このことを存分に味わうことができるユニークな教科書であると言える。

テーマとしてはどちらかといえばごく堅いお話のせいか、原著者らはウィットに富んだ言い回しを多用しているようで、そのニュアンスを伝えようと努力された訳者の苦勞が忍ばれる。改めて原著を読んでみたくなった次第。

なお、保障措置上の専門用語は、その特殊性もあって一般的にはわかりづらいものである。IAEA Safeguards Glossary 2001 Edition(核物質管理センターから和訳が出版されている)を合わせて読むことをお勧めしたい。

(京都大学・宇根崎博信)



目安箱への投書のご案内

日本原子力学会 編集委員会

編集委員会は、読者・会員・投稿者等からのご意見、ご提案をいただき、よりよい学会誌編集活動を目指すべく、意見窓口「目安箱」を設けております。

- ・学会誌の企画、編集、掲載記事や論文に関すること。
- ・新刊図書の見聞の推薦

などについてのご意見・ご要望がございましたら、学会ホームページ

<https://ssl.aesj.net/publish/meyasubako>, または E-Mail: aesj2005meyasu@aesj.or.jp にてお寄せください。

編集委員会にて検討後、担当者より回答させていただきます。

学会誌編集活動への皆様の積極的なご参加をお願いいたします。

理事会だより



研究炉と人材育成

大学、研究機関が保有し運転する原子炉や臨界集合体などの核分裂連鎖反応を利用する装置(以下「研究炉等」という)の利用は、原子力工学、中性子科学、基礎科学のみならず、医学、薬学、農学など生命科学や工学の広い分野で、産業利用及び教育に大きな広がりを持っています。

学生は、研究炉等を利用した炉物理、放射線科学などの基本的な技術の現場実習により、原子力利用に不可欠な安全管理とセキュリティ管理についても体験を通して習得することができます。また、取扱いが比較的容易な臨界実験装置を使った教育演習では、入門段階の多くの学生が核燃料の臨界特性、原子炉における核燃料の取扱いを体験でき、将来原子力に携わる人材の育成には不可欠と言えます。

しかし、現在、すべての研究炉等が停止しており、今後の再稼働の見通しも不透明な状況となっています。このため、学生は、研究施設での現場実習の経験がないまま、卒業するような事態が起こっています。また、研究についても停滞しており(中性子科学の危機)、利用者の海外流出(海外の研究炉等の使用)も始まっています。原子力人材育成基盤の長期欠落は、放射線利用を含めた原

子力技術の利用を阻害するとともに、今後、求められる廃炉技術の維持と人材確保に支障をきたすことにもなりかねません。

原子力安全規制を含めた原子力(エネルギー及び放射線)利用の広範な分野の人材育成のためには、研究炉等の早期再稼働が望まれます。一方、大学及び研究機関では研究炉等の運営のための予算・人員の減少により運転員を含む運転維持の基盤インフラが限界にきています。

6月24日新旧会長記者会見にて本件が取り上げられ、即日NHKニュースに取り上げられました。7月16日日本学術会議原子力総合シンポジウムでのパネルディスカッションでも取り上げます。学会では特別専門委員会「原子力アゴラ」でも議論を実施中で、近く特別チームを立ち上げ、フォローアップしていきます。実態調査結果など事実とデータを主体に、会長定期記者会見などで公開していく方針であります。

東京大学大学院工学系研究科原子力専攻
上坂 充

「理事会だより」へのご意見、ご提案の送り先
rijikaidayori@aesj.or.jp



From Editors 編集委員会からのお知らせ

— 最近の編集委員会の話題より —
(8月4日第2回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・7月期に英文誌へ27論文、和文誌へ3論文が投稿された。
- ・英文誌インパクトファクターWGを設置し、その維持向上策を継続的に検討していくこととした。
- ・日本原子力学会論文誌に関する規約の改正案を検討し、微修正ののち承認した。
- ・投稿規定の改定案を検討した。
- ・学会賞論文賞への推薦手順を確認した。

【学会誌関係】

- ・交代した諮問委員(電事連)の紹介・挨拶があった。
- ・日本原子力学会学会誌に関する規約の改定案を検討した。
- ・編集長より、委員会活動の進め方と記事企画について話があった。
- ・編集委員より、学会誌の評価復活について過去に実施したWebアンケート結果の紹介と今後の評価方法や集計・結果報告について話し合いがあった。
- ・学会誌記事のWeb上への公開について、今後意見をまとめることになった。
- ・次号以降の記事進捗状況の報告と確認を行った。

編集委員会連絡先<hensyu@aesj.or.jp>